

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA MECÁNICA E INGENIERO MECÁNICO

TEMA:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CORTADORA LASER
CNC PARA EL GRABADO Y CORTE DE MADERA (MDF) DE UN ESPESOR
4mm PARA LA EMPRESA SERVIHARDMETAL.

AUTORES:
JONATHAN ALEJANDRO ARMAS GUAYASAMIN
GENESIS VALERIA CHÁVEZ GUTIÉRREZ

TUTOR:
JAIME ROLANDO HEREDIA VELASTEGUÍ

Quito, marzo del 2021

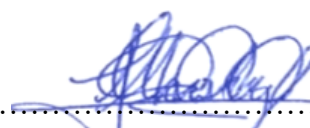
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Armas Guayasamin Jonathan Alejandro y Genesis Valeria Chávez Gutiérrez con documentos de identificación N.º 172200857-8 y N.º 020186090-5, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CORTADORA LASER CNC PARA EL GRABADO Y CORTE DE MADERA (MDF) DE UN ESPESOR 4mm PARA LA EMPRESA SERVIHARDMETAL.mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Mecánica e Ingeniero Mecánico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Armas Guayasamin Jonathan Alejandro
CI: 172200857-8



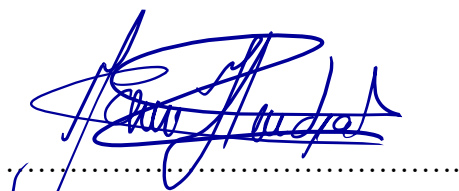
.....
Chávez Gutiérrez Genesis Valeria
CI: 020186090-5

Quito, marzo 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CORTADORA LASER CNC PARA EL GRABADO Y CORTE DE MADERA (MDF) DE UN ESPESOR 4mm PARA LA EMPRESA SERVIHARDMETAL. realizado por Armas Guayasamin Jonathan Alejandro y Chávez Gutiérrez Genesis Valeria obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2021



.....
Jaime Rolando Heredia Velasteguí
CI:1721400768

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a Dios por darme la vida y las fuerzas para enfrentar cada dificultad que se me ha presentado.

De manera especial, el proyecto se lo dedico a mi madre Silvia Gutiérrez (†), aunque físicamente esté ausente, ella me supo enseñar valores, principios y buenos hábitos los cuales han sido la base fundamental para mi vida, para mis estudios, y para la culminación de este proyecto.

A mi padre Joffre Chávez que con su cariño y constantes consejos me ha sabido apoyar y alentar para superarme día a día. A mis abuelos Guido y Elvia, por su constante preocupación, consejos y buenas enseñanzas.

Valeria

El proyecto de titulación lo dedico, principalmente, a mis padres y abuelos ya que gracias a ellos he logrado una de las primeras metas más importantes del estudio.

A mi familia que me apoyaron moralmente en el transcurso de este tiempo de estudio para no desmayar y continuar hasta alcanzar la meta más esperada.

A todos mis amigos de la universidad que fueron parte importante en el transcurso de esta lucha por alcanzar el logro más esperado por todos, quienes en su momento me ayudaron, explicaron y enseñaron cuando lo necesite.

A mis amigos de mi infancia con quienes nos propusimos muchas metas, en aquel entonces, y hoy en día cada uno ha logrado conseguir poco a poco lo que nos propusimos.

A las amistades del barrio, del trabajo y de muchos lugares más que confiaron en mí y estaban al pendiente de cuando termine mis estudios.

Jonathan

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por permitirme culminar con mis estudios universitarios, por guiarme en cada decisión y cuidar de todos mis seres queridos. Por el amor entregado, por los consejos, palabras de aliento, cuidados y preocupación agradezco a toda mi familia materna.

A la persona que me dio la vida, Silvia Gutiérrez (†), mis infinitos agradecimientos porque me supo inculcar los mejores valores, siendo ejemplo de superación. Agradezco a mi tía Cruz por ser mi confidente, mi mejor amiga, mi consejera, mi apoyo en cada aspecto de mi vida.

Por su amor, paciencia, apoyo y cuidados. Agradezco a mi novio, Jonathan Armas, quien fue parte fundamental en mi vida universitaria y personal, siendo mi confidente, compartiendo alegrías, preocupaciones, éxitos y sobre todo derrotas.

Valeria

Primero, agradezco a Dios quien me ha dado la vida y las fuerzas para poder obtener un logro más en mi vida. Agradezco a mis padres, abuelos y a mi familia en general ya que sin el apoyo de ellos no hubiera podido alcanzar esta meta tan anhelada.

Agradezco a una persona muy especial que ahora ya no se encuentra en este mundo, pero sé que donde él está siempre me apoyó desde el día que decidí iniciar mis estudios... Gracias Antonio Guayasamin (†)... Gracias, a los docentes, quienes fueron parte fundamental en todo este trayecto de estudios por compartir sus conocimientos, experiencias y anécdotas de vida.

Finalmente, agradezco a Valeria por estar junto a mí y ser parte importante en este logro, quien me ayudó a salir adelante en aquellos malos momentos de la vida y supo cómo estabilizarme para no desmayar, y es por eso que gracias a su amor he logrado alcanzar esta meta.

Jonathan

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 Perfil de la empresa SERVIHARDMETAL	6
1.1.1 Necesidades de SERVIHARDMETAL.....	6
1.2 Cortadora láser CNC.....	6
1.3 Laser.....	7
1.3.1 Propiedades del láser.	7
1.3.2 Proceso de láser	8
1.3.3 Tipos de láser por tipo de medio.....	8
1.3.4 Procesos basados en tecnología láser.	9
1.4 Control numérico computarizado (CNC)	9
1.5 Tecnología CAD	10
1.6 Tecnología CAM	10

1.7 Campos de aplicación de CNC	10
1.8 Componentes eléctricos de una máquina CNC.....	10
1.8.1 Drives.....	11
1.8.2 Motores	11
1.8.3 Fuente de poder	11
1.9 Transmisión de movimiento	11
1.9.1 Varilla Roscada.....	12
1.9.2 Husillos	12
1.9.3 Correa Dentada	12
1.10 Motor Paso a Paso.....	13
1.10.1 Motores paso a paso de imán permanente	13
1.11 Definición de MDF	14
CAPITULO II	15
CÁLCULOS.....	15
2.2 Análisis estático.	16
2.2.1 Diámetro de los ejes guías	16
2.2.2 Cálculo de diámetro para varilla roscada del eje “Y”	19
2.3 El torque requerido para hacer girar el tornillo.....	20
2.4 Análisis dinámico	21
2.4.1 Cálculo de diámetro para tornillo en eje “Y”	21
2.5 Cálculos de flexión V-SLOT 2020	22
2.6 Parante para el eje X.	24
CAPÍTULO III.....	25
DISEÑO DEL PROTOTIPO	25
3.1 Requerimientos	25

3.1.1 Elementos a adquirir.....	26
3.2 Diseño conceptual.....	26
3.2.1 Parámetros	26
3.2.2 Funcionalidad del diseño	26
3.2.3 Ejes horizontales “X” y “Y”	27
3.3 Diseño mecánico.....	27
3.3.1 Ejes guías.....	28
3.3.2 Transmisión por varilla rosada	28
3.3.3 Elementos impresos en 3D	30
3.4 Elementos electrónicos	34
3.4.1 Módulo de diodo láser de 15 Watts.....	34
3.4.2 Motor Nema 17.....	34
3.4.3 CNC Shield.....	35
3.4.4 Driver A4988.....	36
3.4.5 Fuente de Alimentación.....	37
CAPÍTULO IV	39
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	39
4.1 Armado de la base.....	39
4.2 Circuito implementado para el control del prototipo.....	42
4.3 Calibración.....	42
4.4 Desarrollo de software	43
4.4.1 Vectorizar imágenes en Inkscape.	43
4.4.2 LáserGRBL.....	51
CAPÍTULO V	56
FUNCIONAMIENTO.....	56

5.1 Enfoque del láser.	56
5.2 Ensayos con diferentes trayectorias.	58
5.3 Ensayos de corte	60
CAPÍTULO VI.....	64
ANÁLISIS FINANCIERO	64
6.1 Inversión Inicial	64
6.1.1 Costos de diseño.	64
6.1.2 Costos de operaciones	65
6.1.3 Costo de insumos.....	66
6.2 Evaluación económica	66
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES.....	71
REFERENCIAS	72
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Coherencia de la luz laser	7
Figura 2. Proceso de mecanizado en un CNC	9
Figura 3. Componentes eléctricos de una máquina CNC	11
Figura 4. Varilla roscada	12
Figura 5. Husillo con tuerca	12
Figura 6. Motor PAP bipolar	13
Figura 7. Diferencia entre MDF y aglomerado	14
Figura 8. Diagrama para calcular cargas aplicadas.	15
Figura 9. Gráfico de las reacciones presentes en el eje	16
Figura 10. Diagrama de fuerza cortante	17
Figura 11. Diagrama de momento cortante	17
Figura 12. Gráfico de las reacciones presentes en el eje	19
Figura 13. Diagrama de fuerza cortante	19
Figura 14. Diagrama de momentos en el eje	20
Figura 15. Diagrama de fuerzas en el tornillo	21
Figura 16. Perfil V-SLOT 2020 perteneciente a la base.	22
Figura 17. Diagrama de flexión del perfil bajo carga concentrada estática	23
Figura 18. Prototipo ejes “X” y “Y”	27
Figura 19. Diseño 3D del prototipo	27
Figura 20. Soporte para motor PAP.	30
Figura 21. Soporte de la varilla roscada	31
Figura 22. Columna para eje X.	31
Figura 23. Angulo de unión	32

Figura 24. Soporte para laser.	32
Figura 25. Aumento para mesa.	33
Figura 26. Angulo de unión	33
Figura 27. Soporte para el módulo láser	33
Figura 28. Motor Paso a Paso (17SH3001-20B).....	35
Figura 29. CNC Shield.....	36
Figura 30. Driver A4988	36
Figura 31. Fuente de alimentación CH-120-12.....	37
Figura 32. Unión de perfiles base.	39
Figura 33. Componentes de sujeción del motor y tornillo sin fin en el eje “Y”.	40
Figura 34. Componentes para eje “Y”.	40
Figura 35. Impresión 3D de piezas columnas para el eje “X”.	41
Figura 36. Impresión 3D de piezas columnas para el eje “X”.	41
Figura 37. Circuito implementado para el control del prototipo.....	42
Figura 38. Medidas de ancho y alto, del documento.....	44
Figura 39. Carpeta de imágenes en formato.jpg.	44
Figura 40. Visualización de la imagen seleccionada para vectorizar.....	45
Figura 41. Ventana vectorizar mapa de bits.....	46
Figura 42. Imagen original he imagen vectorizada.	46
Figura 43. Evidenciar la imagen vectorizada al ser seleccionada.	47
Figura 44. Visualización de los puntos de orientación.	47
Figura 45. Aparición de características del proceso en la interfaz principal.	48
Figura 46. Rotulo con la descripción de herramienta y detalles del proceso.	49
Figura 47. Venta de trayecto a Gcode, Sección <i>preferencias</i>	50

Figura 48. Venta de trayecto a Gcode.....	50
Figura 49. Carpeta que contiene el archivo con el código g.	51
Figura 50. Código G abierto en bloc de notas.....	51
Figura 51. Interfaz principal del software Laser GRB.	52
Figura 52. Seleccionar el archivo que contiene el código G.....	52
Figura 53. Trayectoria que recorrerá el láser.	53
Figura 54. Iconos en la interfaz de LáserGRBL.	54
Figura 55. Haz de luz de 0.5mm de diámetro.	56
Figura 56. Línea 0.25mm de grosor.	56
Figura 57. Haz de luz de 1mm de diámetro.	56
Figura 58. Línea 0.5mm de grosor.	57
Figura 59. Haz de luz de 2mm de diámetro.	57
Figura 60. Línea 1mm de grosor.	57
Figura 61. Haz de luz de 4mm de diámetro.	57
Figura 62. Línea de 1mm de grosor.	57
Figura 63. Comparación de grabado de líneas con diferentes enfoques.	58
Figura 64. Triangulo realizado en AutoCAD.....	59
Figura 65. Trayectoria del triángulo en LáserGRBL.	59
Figura 66. Medición de las figuras geométricas realizadas.	59
Figura 67. Siluetas culminadas de cada ensayo.	61
Figura 68. Siluetas observadas desde la parte posterior de la tabla base.	61
Figura 69. Siluetas del corte sin desprender las piezas.	62
Figura 70. Piezas desprendidas de la madera base.....	62
Figura 71. Ejemplos de grabado y corte.....	63

Figura 72. Ejemplo de corte en MDF laminado.....	63
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 9. Deformación de probeta de PLA a compresión	24
Tabla 2. Elementos a adquirir	26
Tabla 11. Matriz de alternativas para elegir el tipo de transmisión	28
Tabla 12. Resultados de la matriz de alternativas	29
Tabla 13. Características de la varilla roscada.	29
Tabla 14. Características del módulo láser	34
Tabla 15. Características del motor Paso a Paso (17SH3001-20B)	35
Tabla 16. Características de la CNC Shield	36
Tabla 17. Características del Driver A4988.	37
Tabla 18. Características de la fuente de alimentación CH-120-12	38
Tabla 19. Medición de Voltajes y Corrientes.	42
Tabla 20. Requerimientos de software.	43
Tabla 21. Descripción de ensayos.	58
Tabla 22. Ensayos para cortar MDF de 4mm	60
Tabla 1. Costo de la hora de trabajo	64
Tabla 2. Cálculo del costo de diseño.	65
Tabla 3. Costo de operaciones	65
Tabla 4. Costo de los componentes	66
Tabla 5. Incremento anual de inflación en Ecuador.	67
Tabla 6. Costo del escenario #1	67
Tabla 7. Costos del escenario #2	68
Tabla 8. Tabla comparativa entre los valores del escenario #1 y #2	68

RESUMEN

Uno de los enfoques de la carrera de Ingeniería Mecánica es automatizar los centros de producción a través de máquinas que realicen trabajos mediante softwares obteniendo resultados que no pueden ser obtenidos por la mano del hombre en el corte de materiales, en este proyecto se propuso la realización de un prototipo que realice grabado y corte de madera MDF mediante la utilización de un láser.

Dado la importancia de realizar trabajos de gran precisión para las PYMES que realizan procesos de manufactura con la finalidad de satisfacer las exigencias de los clientes, se ha realizado máquinas que trabajen de manera autónoma mediante el control de un ordenador.

En este proyecto se describe el diseño, materiales y funcionamiento del prototipo, se toma en cuenta la finalidad de esta máquina, que es el grabado y corte de madera, para la correcta implementación de cada elemento tanto mecánico como electrónico.

El prototipo fue diseñado para realizar grabado en madera MDF como material principal y corte del mismo con un espesor de 4mm utilizando un láser de 15W de potencia.

Con la cortadora láser en marcha se realizó pruebas con diferentes factores, como por ejemplo enfoque, velocidad de desplazamiento y potencia, para obtener resultados con los mejores tiempos de trabajo.

Finalmente se presentan conclusiones y recomendaciones alcanzadas en desarrollo del proyecto de tesis.

Palabras claves: diseño, construcción, láser, madera MDF.

ABSTRACT

One of the focuses of the Mechanical Engineering career is to automate production centers through machines that carry out work using software, obtaining results that cannot be obtained by human hands in the cutting of materials, in this project the realization was proposed of a prototype that engraves and cuts MDF wood using a laser.

Given the importance of carrying out high precision work for small and medium-sized companies that carry out manufacturing processes in order to satisfy customer demands, machines have been made that work autonomously through the control of a computer.

In this project the design, materials and operation of the prototype are described, the purpose of this machine is taken into account, which is the engraving and cutting of wood, for the correct implementation of each mechanical and electronic element.

The prototype was designed to engrave MDF wood as the main material and cut it with a thickness of 4mm using a 15W laser.

With the laser cutter running, tests were performed with different factors, such as focus, travel speed and power, to obtain results with the best working times.

Finally, conclusions and recommendations reached in the development of the thesis project are presented.

Keywords: design, construction, laser, MDF wood.

INTRODUCCIÓN

La tecnología CNC es una de las pioneras en la actualidad ya que se implementa en la mayoría de las máquinas que son manipuladas por la mano del hombre con el fin de realizar trabajos complejos.

En el Ecuador las grandes industrias y PYMES buscan adquirir máquinas totalmente automatizadas por CNC, para optimizar los procesos, tiempos y recursos de los distintos procesos a realizar, sin embargo, la utilización de láser es limitada debido a su alto costo de importación, lo que causa un retraso tecnológico.

Por lo antes mencionado se plantea el proyecto de diseño y construcción de un prototipo de cortadora laser CNC para el grabado y corte de madera MDF de un espesor 4mm para la empresa SERVIHARDMETAL la misma que financiará el proyecto al 100%, el éxito de la cortadora laser se verá al obtener piezas con acabados de calidad en el proceso de corte o grabado.

En el primer capítulo, se realiza la investigación sobre el funcionamiento de los diferentes elementos mecánicos y electrónicos que serán implementados en el proyecto, se tomó en cuenta la funcionalidad, material y costos con el propósito de alcanzar el máximo rendimiento al realizar cortes o grabados.

En el segundo capítulo se realizan los cálculos para definir el diámetro de los ejes guías y de la varilla roscada, al igual que el modelo del motor paso a paso.

En el tercer capítulo, se utiliza Inventor para realizar el diseño 3D de los componentes mecánicos que serán implementados, este capítulo contribuye a la visualización del ensamble ya terminado, para obtener la mayor precisión en el proceso de construcción.

En el cuarto capítulo, se procede con la construcción del prototipo basándose en el diseño realizado en el capítulo anterior, se efectúa la calibración de componentes y la implementación de los diferentes softwares para un correcto funcionamiento.

En el quinto capítulo, se verifica el funcionamiento del prototipo mediante la realización de ensayos en los que se identifican factores importantes, como potencia, velocidad de avance, numero de pasadas, tiempos y se analiza los diferentes resultados obtenidos.

Se realizó un análisis de costos, estos datos son presentados en el sexto capítulo para conocer la inversión en valores monetarios por parte de la empresa SERVIHARDMETAL como auspiciante del proyecto.

El concepto de ‘CNC’ deriva originalmente de Control Numérico (NC) de maquinaria, esto significa que aplicara lógica programable como pueden ser datos en forma de símbolos, letras, números, palabras, para automatizar la máquina y cumplir con una tarea específica [1].

A partir de los 40’s se fueron clarificando las percepciones del moderno maquinado NC, adoptando el término en el año 1952 por el Laboratorio de Servomecanismos del MIT (Michigan Institute of Technology) exhibiéndose las primeras máquinas comerciales de control numérico en el año de 1955 en la Feria Nacional de Maquinaria ,presentada en Illinois, Estados Unidos [1].

Las máquinas modernas (CNC) cada día presentan nuevos avances tanto en fresado, torneado con la utilización de hasta 7 ejes, en la actualidad se han implementado cortadores laser, cortadores de plasma e impresoras 3D con la finalidad de crear cualquier forma con una alta calidad, rapidez y detalles específicos.

El corte láser se utiliza a partir de 1965 para realizar perforaciones exactas en troqueles, de diamantes la máquina fue creada por la organización de Western Electric Engineering Research Center, posterior al éxito de la maquina se crea el corte láser, en 1967 en Inglaterra, se implementó los láseres de CO2 con la finalidad de seccionar materiales más suaves y delicados como son los textiles, papel, entre otros, de esa manera se comienzan a implementar el láser en diferentes procesos introduciendo un nuevo mercado en la industria [2] .

Las máquinas de corte láser son utilizadas en las técnicas de fabricación sustractiva, esta forma de mecanizado no tiene contacto con el material y permite efectuar cortes de cualquier geometría, ya que estas operaciones se basan en la ejecución de mecanismos cartesianos.

La utilización del láser permite adicionalmente realizar grabados donde el valor máximo de umbral debe ser inferior a intensidad de radiación del láser el corte láser en la actualidad emplea motores a pasos que cuentan con un software que permite posicionar a estos actuadores en las coordenadas solicitadas por el operador para realizar los cortes de la figura deseada. Para el desarrollo y diseño del prototipo de la cortadora láser a continuación se mencionan proyectos llevados a cabo en los cuales se ha implementado el corte por láser, estos han servido de guía y referencia para la presente tesis.

- **Diseño y construcción de una CNC láser para grabado en madera [2]**

La presente investigación se pretende diseñar y construir una máquina CNC en el instituto superior tecnológico Carlos Cisneros que permita controlar el movimiento de un módulo de diodo láser azul de 35W de potencia para realizar el grabado de cualquier grafico en el área de madera. Se escogió el uso de bandas, rodamientos y poleas para mover el modulo en 3 ejes, está controlado a través de un hardware y software, que permite precisar el tipo de diseño y proceso. Se estableció la eficacia del prototipo al observar nitidez y claridad en el texto grabado en madera, el diodo led azul permite obtener resultados similares a los realizados con máquinas comerciales [2].

- **Diseño y ejecución de un prototipo de cortadora láser controlada mediante CNC [3]**

El prototipo perteneciente al presente tema de análisis pretende realizar corte y grabado en materiales delicados como madera o cartón

,para lo que se propuso la implementación de piezas plásticas para realizarlas en impresión 3D pues presentan una buena rigidez al ser rellenas al 100% y una reducción de costos en comparación con otros materiales, se propone controlar el prototipo mediante

un ordenador, como característica principal el láser debe poderse ajustar a la altura requerida [3] .

- **Cortadora láser CNC [4]**

La máquina estudiada en este antecedente debe cortar piezas planas en acrílico de 3mm de manera rápida, practica y económica, se implementará una potencia de 40W proporcionada por un láser de CO₂, en función a la potencia se determinaron los requerimientos mecánicos y electrónicos bajo los cuales trabajara la máquina. Se realizó el diseño asistido por computadora y posteriormente se hizo el análisis cinemático por simulación, esto permitió obtener los parámetros necesarios para la fabricación de cada pieza, con la información obtenida se procedió a construir el sistema CNC, además de implementar la parte electrónica [4]. Adicionalmente se añadió una pantalla que servirá como interfaz de comunicación para que el operador conozca detalles del corte [4].

- **Diseño y construcción de una cortadora láser para papel con interfaz gráfica [5]**

Se diseñó una máquina que cumpla con los técnicas de corte y grabado en papel, según los diseños presentados en la interfaz gráfica, se consideró implementación de un láser infrarrojo que realice el corte de diseños personalizados los mismos que se podran desarrollar en el software Inkscape, este programa es encargado de trasforma las figuras o imágenes en código G para que la maquina desarrolle el corte o grabado ,mediante las pruebas realizadas se logró determinar diferentes valores de velocidad ,para otros materiales , como fomix , acrílicos, o tipos de madera [5].

El uso de máquinas CNC ha ido creciendo de manera rápida en especial para el sector de la producción, esta tecnología ha permitido desarrollar nuevas formas de mecanizado de piezas completamente imposibles de realizar para la mano de obra calificada, estas máquinas tienen la particularidad de realizar grandes trabajos de producción en lapsos de tiempo muy cortos, las cortadoras CNC ha permitido obtener excelente resultados de corte desde materiales suaves como la madera hasta materiales sumamente fuertes como los aceros.

El alto costo de una maquina CNC es uno de los problemas para la adquisición por parte de las PYMES, por lo tanto, se ha decidido diseñar y construir un modelo de maquina cortadora de madera CNC con bajo presupuesto y accesible, garantizando un funcionamiento eficiente con la mayor precisión posible.

La elaboración de este proyecto es patrocinada por la empresa SERVIHARDMETAL para dar inicio a la incorporación de nuevas tecnologías apoyando a trabajadores en el aprendizaje de nuevos métodos para la elaboración de distintas tareas realizadas por la empresa.

La máquina con control numérico computarizado será de uso interno para la empresa ya que requiere esta técnica de corte para realizar letras de identificación, para maquinas herramientas y sectores de trabajo, adicionalmente se empleará en elaborar piezas publicitarias de la empresa, igualmente se pretende diseñar piezas para implementar en maquetas de presentación.

El objetivo general consiste en Diseñar y construir un prototipo de cortadora laser CNC para el grabado y corte de madera (MDF) de un espesor 4mm, para la empresa SERVIHARDMETAL.

Los objetivos específicos son:

- Identificar las necesidades presentes en la empresa Servihardmetal en el uso de máquinas de corte y grabado.
- Evaluar diferentes alternativas de equipos CNC existentes en mercado, para obtener un equipo económico y eficiente.
- Conocer la programación para el control de frecuencia del dispositivo láser.
- Validar el funcionamiento de la cortadora láser CNC con los parámetros propuesto para el corte y grabado.
- Analizar la rentabilidad y eficiencia del equipo según las exigencias de la empresa Servihardmetal.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se proporcionan conceptos básicos de importancia para comprender el funcionamiento de los diferentes sistemas empleados en la cortadora laser CNC. Esta sección comprende una introducción a lo que es la empresa SERVIHARDMETAL y establecer conceptos acerca del láser, funcionamiento de las maquinas CNC, tecnología CAD/CAM, transmisión de movimiento y motores paso a paso.

1.1 Perfil de la empresa SERVIHARDMETAL

SERVIHARDMETAL Cía. Ltda. es una organización ecuatoriana, ubicada en Cutuglagua - Cantón Mejía las principales actividades son la fabricación de metales arquitectónicos y estructurales incluyendo actividades secundarias, tales como fabricación de ventanas y puertas metálicas, enchapado, galvanoplastia, pulido, anodizado y coloración, la empresa fue fundada en 17 de junio de 2015, tiempo en el cual se ha establecido en el mercado nacional dedicado a la metalmecánica.

1.1.1 Necesidades de SERVIHARDMETAL.

La empresa adoptará este prototipo como elemento fundamental para el departamento de marketing de esta manera facilitara la publicidad de la misma, ya que requieren realizar obsequios promocionales personalizados que llevan el logotipo y el mensaje de la empresa, por lo que proporcionan mayor visibilidad y son una iniciativa para darse a conocer a futuros consumidores.

Esta técnica de corte láser también facilitará, la identificación de diferentes áreas o máquinas - herramientas en las instalaciones, mediante la implementación de letras o letreros.

1.2 Cortadora láser CNC

Una cortadora láser CNC, tiene como función primordial realizar cortes perfectos por medio del láser, demandan de la ayuda de un equipo de cómputo para crear una diversidad

de diseños en diferentes softwares que facilitarán trabajar con vectores para que las órdenes sean precisas y se pueda proceder con el grabado o corte [6] .

1.3 Láser

El significado puntual de la palabra proviene de un acrónimo del inglés, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation [7].

La emisión de luz producida por el láser se debe a los principios básicos sobre el funcionamiento del láser establecidos por Albert Einstein; el primero se debe a que la luz se transporta en el espacio en forma de fotones: el segundo establece que, al ingresar energía en un sistema, los electrones pueden transportarse a una órbita superior, y para regresar a su estado natural liberaran más fotones. Este principio expone la creación del haz de luz en el láser [7] .

Las características principales que cumple un láser son cromatismo, colimado y coherencia. Esta última establece que la luz generada por el láser viaja en la misma dirección y trayectoria de manera organizada en espacio y tiempo [8].

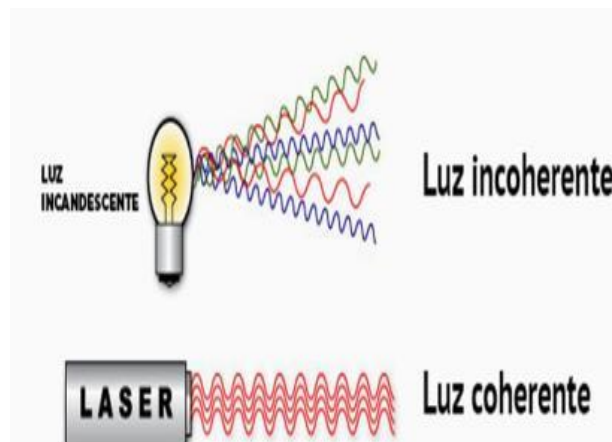


Figura 1.Coherencia de la luz laser [9]

1.3.1 Propiedades del láser

El dispositivo láser otorga a la luz propiedades muy importantes que se debe tener en cuenta a la hora de su implementación como son la potencia. Esta puede ser ampliada y se mide en watts, la irradiación que mide la intensidad de la fuente de laser en watts por

cm^2 la frecuencia de emisión describe la forma en que el haz de luz sale de la fuente, que puede ser continua o pulsada y la densidad de potencia también conocida como fluencia [8] .

1.3.2 Proceso de láser

Es un proceso en el cual la luz producida por el láser será dirigida de forma nítida con un lente, en el foco del rayo láser se produce una alta fluencia, es decir densidad de potencia considerablemente alta para fundir los materiales [10].

1.3.3 Tipos de láser por tipo de medio

Para la estimulación de los electrones que se encuentran alrededor del núcleo se utiliza una carga de átomos pertenecientes a un sólido, gas o líquido.

- a. **Láser de estado sólido:** El medio de ganancia de los SSL (láser de estado sólido) es un cristal o vidrio (o cerámica) dopado con los átomos activos por láser (normalmente tierras raras), el bombeo se realiza con luz (lámparas de flash, diodos láser) [11].
- b. **Láseres de gas:** En esta clase de láser la sustancia activa que será excitada con una corriente eléctrica es un gas entre los más utilizados o comunes están son argón y helio-neón [12].
- c. **Láseres de colorante:** Este tipo de láser tiene la peculiaridad que se puede ajustar a una amplia gama de longitudes de onda, utiliza tintes orgánicos en solución líquida como la rodamina 6G [11].
- d. **Láser con semiconductores (láser de diodo):** Como su nombre lo dice, contiene un diodo que proporciona luz láser de manera coherente, quiere decir que contiene un conjunto de material semiconductor definido como p-n, en los cuales el polo positivo de la fuente de voltaje está conectado al fragmento “p” y la negativa a la “n” [13].

1.3.4 Procesos basados en tecnología láser

En la industria la implementación del láser es una gran oportunidad tecnológica para realizar procesos de fabricación o transformación de materia prima, los principales procesos son fabricación aditiva, soldadura, corte, tratamientos térmicos, texturizado, grabado o marcado, micro taladrado [14].

La ventaja común de los procesos por láser es que los desarrollos de las diferentes labores pueden ser controlados y dirigidos por dispositivos tecnológicos que registra el progreso del trabajo en tiempo real, también se caracterizan por la facilidad de cumplir con diferentes procesos variando el cabezal óptico y manteniendo el mismo generador, cumpliendo de esta manera con diferentes demandas de la industria [14].

1.4 Control numérico computarizado (CNC)

CNC Significa "Control Numérico Computarizado". Las máquinas CNC cumple con disposiciones que normalmente son difíciles de realizar y de dirigir de forma manual, estas máquinas son controladas mediante un ordenador el cual indica la velocidad de los motores que accionan los ejes y la posición de la herramienta dispuesta en la CNC, de esa manera una maquina CNC es apta para realizar desplazamientos, rectos, diagonales, circulares, curvos y entre otras figuras complejas tridimensionales [15].

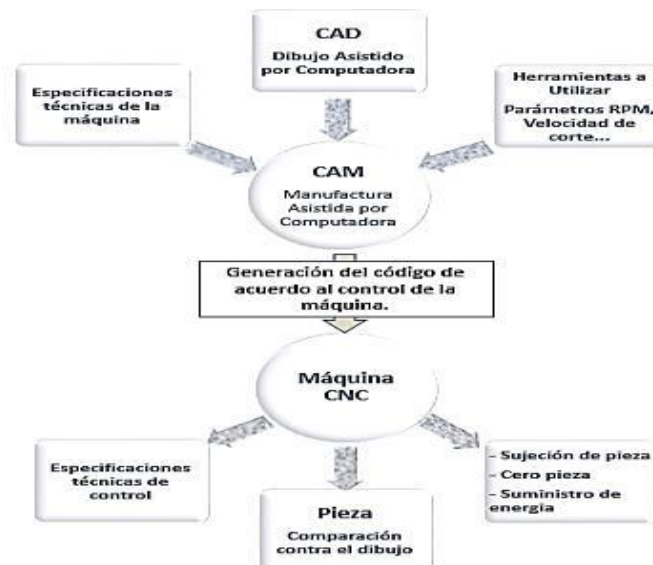


Figura 2. Proceso de mecanizado en un CNC [16]

1.5 Tecnología CAD

Las siglas en inglés CAD significan “Computer Aided Desing” es decir diseño asistido por computador. Este sistema incorpora uno o más ordenadores con la finalidad de crear, modificar, analizar y optimizar un proceso de diseño, la tecnología CAD permite diseñar de forma interactiva, permitiendo optimizar la productividad y precisión de un diseñador, una parte importante es que la salida de información pueden ser archivados en medios magnéticos [17].

1.6 Tecnología CAM

CAM son siglas que tienen como significado Manufactura Asistida por Computador proveniente del inglés “Computer Aided Manufactur”. Los sistemas CAM engloban los softwares que permiten la generación automática de programas de CNC para controlar las operaciones de manufactura desde el ordenador. Gestionan diferentes etapas de los procesos de fabricación, desde el transporte, almacenamiento, producción, hasta la gestión de máquinas - herramientas [17].

1.7 Campos de aplicación de CNC

En las industrias se utilizan para diferentes aplicaciones, en procesos de pequeña o gran escala, entre las áreas industriales que demandan la aplicación de máquinas CNC son extracción del metal, fabricación de metal, descarga eléctrica de mecanizado, industrias madereras y en toda aplicación que necesite controlar los movimientos [18].

Los CNC especializados para el mecanizado pueden ser fresa, taladro, sierra, centro de mecanizado, plegadoras, cizalladoras, punzonadoras, prensas [18].

1.8 Componentes eléctricos de una máquina CNC

Para coordinar los desplazamientos de las máquinas CNC se debe implementar componentes electrónicos que permitan coordinar e interactuar con el usuario la transmisión de datos.

Los siguientes elementos eléctricos son los más importantes de una máquina CNC:

1.8.1 Drives

El drive recepta las señales de la interfaz y envía la corriente requerida para alimentar cada uno de los motores, controlar la velocidad del movimiento y su dirección de rotación, se debe tener en cuenta que solo se puede usar un drive por cada motor [19].

1.8.2 Motores

Los motores son los dispositivos encargados de originar energía mecánica en los diferentes ejes de una máquina CNC [20].

1.8.3 Fuente de poder

La fuente poder se encarga de proveer la corriente a la interfaz y a los motores. Hay que tener presente que la gran parte de las interfaces disponibles están diseñadas para funcionar con 5v y los drivers están creados para funcionar con un voltaje que va desde los 12v hasta los 80v dependiendo del modelo o marca [19].

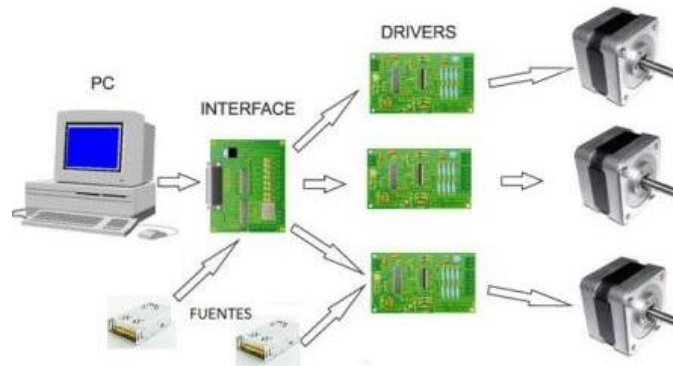


Figura 3. Componentes eléctricos de una máquina CNC [19]

1.9 Transmisión de movimiento

Para el desplazamiento automático de herramientas a utilizar en máquinas CNC se requiere de motores, pero estos no pueden ejecutar el movimiento por sí solos debido a que se requiere convertir el movimiento de giro en un movimiento lineal, los diferentes mecanismos esenciales de transmisión utilizados son: varillas roscadas, husillos o correas dentadas [21].

1.9.1 Varilla Roscada

Es el sistema de la transmisión más económico existente para esta función, generalmente se utiliza roscas métricas entre M8 o M10 las cuales van conectadas directamente al motor PAP, debido al paso de la varilla roscada el avance de movimiento es relativamente lento [22].



Figura 4. Varilla roscada [22]

1.9.2 Husillos

El sistema consiste en conectar el motor PAP directamente al husillo utilizando acoples y se requiere de una tuerca adecuada para el husillo, es un sistema de transmisión muy preciso y a su vez costoso, el husillo al tener un paso mayor hace que la velocidad de transmisión sea rápida, existen tuercas específicas que funcionan con bolas en su interior haciendo que el sistema tenga más precisión y una suave transmisión [23].



Figura 5. Husillo con tuerca. [23]

1.9.3 Correa Dentada

Este método de transmisión de movimiento tiene buena precisión con un costo económico, para su funcionamiento se debe conectar una correa dentada al motor a pasos y al eje que se quiere mover por medio de poleas, estas correas tienen un gran paso; por lo tanto, tiene

gran velocidad de movimiento que está determinada por la cantidad de dientes de la polea y el paso de la correa. Existe diferentes clases de correas, pero las más utilizadas en máquinas CNC son: T5, GT2, XL o HTD [21].

1.10 Motor Paso a Paso

Los motores PAP convierte los pulsos electrónicos en movimientos angulares son dispositivos electromecánicos que dependen de sus entradas de control [20].

Estos motores son idóneos para la construcción de mecanismos donde se requiere de gran exactitud en sus movimientos. Su característica es moverlos por cada pulso electrónico 1.8° hasta 90° de rotación, para lo cual se requiere de un microcontrolador para moverse a deseo del usuario [20].

1.10.1 Motores paso a paso de imán permanente

Los motores a pasos son los más utilizados en el área de la robótica, están constituidos por un cierto número de bobinas excitadoras en su estator y en el rotor están aplicados distintos imanes permanentes [24].

En el mercado hay únicamente dos tipos de motores PAP de imán permanentes unipolares y bipolares:

a. Bipolares

Constan de cuatro cables de salida, para realizar un movimiento se necesita cambios de dirección en el flujo de corriente a través de las bobinas en una secuencia adecuada, su uso es menos común si se compara con los de tipo unipolar [24].

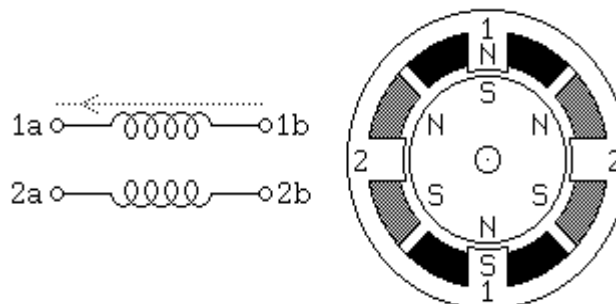


Figura 6. Motor PAP bipolar [24]

1.11 Definición de MDF

Dicho material es el MDF, las siglas en inglés corresponden a (medium density fibreboard) y en español se podría traducir como "fibra de madera de densidad media".

Estos paneles de madera son muy resistentes, de una superficie menos porosa que el aglomerado, lo que permite mejores acabados creando mayores posibilidades en el diseño [25].



Figura 7. Diferencia entre MDF y aglomerado. [25]

CAPITULO II

CÁLCULOS

El diámetro de los ejes guías y varilla roscada fue definido mediante los siguientes cálculos, se comienza por determinar las cargas aplicadas sobre los ejes guías en el eje “Y”. En un sistema de movimiento lineal las cargas ejercidas se modifican dependiendo de donde se establezca el centro de gravedad, fuerzas externas y aceleración o desaceleración durante el arranque. Se utilizó las siguientes ecuaciones para definir el valor de las cargas en el eje “Y”. [26]

$$P1 = \frac{W}{4} + \left(\frac{W}{2} * \frac{L2}{L0} \right) - \left(\frac{W}{2} * \frac{L3}{L1} \right) \quad (1)$$

$$P2 = \frac{W}{4} - \left(\frac{W}{2} * \frac{L2}{L0} \right) - \left(\frac{W}{2} * \frac{L3}{L1} \right) \quad (2)$$

$$P3 = \frac{W}{4} - \left(\frac{W}{2} * \frac{L2}{L0} \right) + \left(\frac{W}{2} * \frac{L3}{L1} \right) \quad (3)$$

$$P4 = \frac{W}{4} + \left(\frac{W}{2} * \frac{L2}{L0} \right) + \left(\frac{W}{2} * \frac{L3}{L1} \right) \quad (4)$$

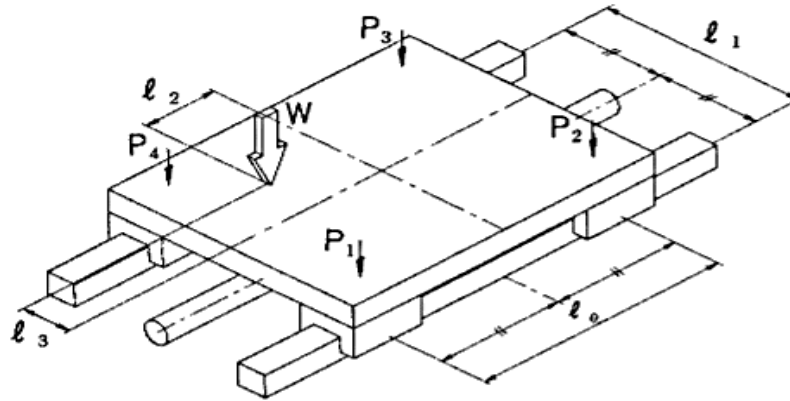


Figura 8. Diagrama para calcular cargas aplicadas. [26]

Donde :

W : Carga(N)

L_n : Distancia(mm)

Datos

Longitud del eje:	500 mm
Masa a mover:	1,1408kg
Gravedad:	9,81 m/s ²
Fuerza:	11,183 N
L0:	120 mm
L1:	242 mm
L2:	20 mm
L3:	60,5 mm

Remplazando los valores anteriores se obtuvo las siguientes cargas:

$$P1 = 2,330 \text{ N}$$

$$P2 = 0,466 \text{ N}$$

$$P3 = 3,261 \text{ N}$$

$$P4 = 5,125 \text{ N}$$

2.2 Análisis estático

2.2.1 Diámetro de los ejes guías

Se realiza el cálculo como si se tratara de una viga, se elige la fuerza con mayor magnitud $P4$ y la fuerza $P3$ que la complementa en dicho eje. Se calculan las reacciones, momentos y se grafican como se observa en los siguientes diagramas.

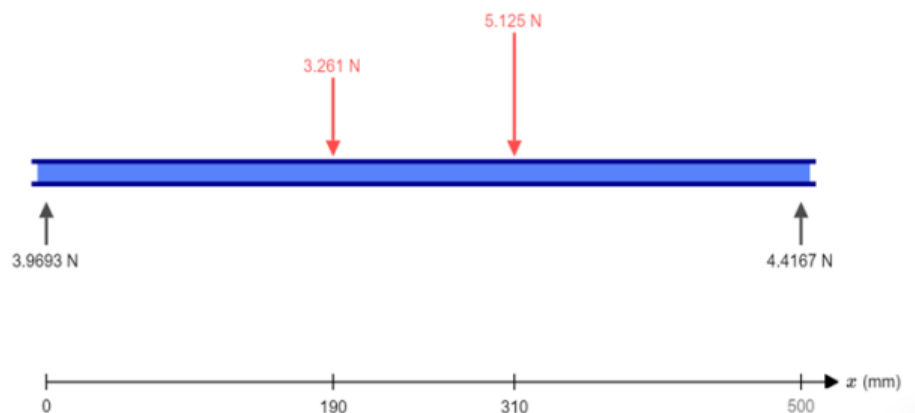


Figura 9. Gráfico de las reacciones presentes en el eje. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez



Figura 10. Diagrama de fuerza cortante. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

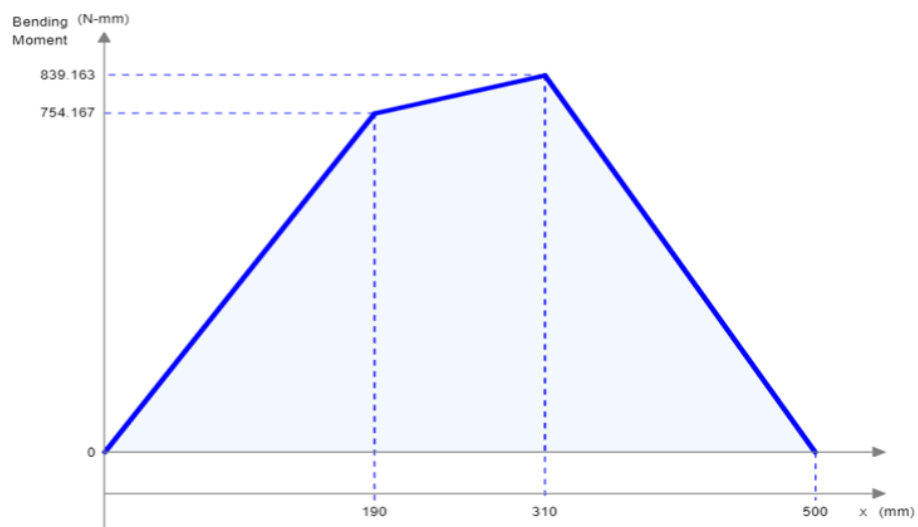


Figura 11. Diagrama de momento cortante. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

$$\text{Momento máximo} = 839,163 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sum MA = 0$$

$$P3 * 190\text{mm} + P4 * 310\text{mm} = RB * 500\text{mm}$$

$$\mathbf{RB = 4,4167 \text{ N}}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$P3 + P4 - RA - RB = 0$$

$$RA = 8,386 \text{ N} - RB$$

$$\mathbf{RA = 3,9693 \text{ N}}$$

Se procede a calcular el esfuerzo admisible con la siguiente formula. [27]

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad (5)$$

Donde :

σ_{adm} : *Esfuerzo admisible*

S_y : *Punto de fluencia del acero AISI 304*

n : *Factor de seguridad*

Datos:

S_y : 220 (N / mm²)

S_y : 220 MPa

n : 2

$$\sigma_{adm} = \frac{220 \text{ MPa}}{2} = \mathbf{110 \text{ MPa}}$$

Se continua con la ecuación para esfuerzo flexionante en tensión.

$$\sigma_{adm} = \frac{32 * M_{max}}{\pi * d^3} \quad (6)$$

$$\sigma_{adm} = \frac{32 * 839,163 \text{ N} \cdot \text{mm}}{3,14 * d^3}$$

$$d^3 = \frac{32 * 0,839163 \text{ N} \cdot \text{m}}{3,14 * 110 \text{ MPa}}$$

$$\mathbf{d = 4,267mm}$$

El diámetro obtenido es de $d = 4,267 \text{ mm}$, por lo que dicho eje será el que soporta el peso de la mesa de trabajo, por la disponibilidad en el mercado se utilizan los ejes de acero AISI 304 de diámetro = 8 mm y longitud = 500 mm para ser utilizadas como guías, un par en el eje “X” y otro par en el eje “Y”.

2.2.2 Cálculo de diámetro para varilla roscada del eje “Y”

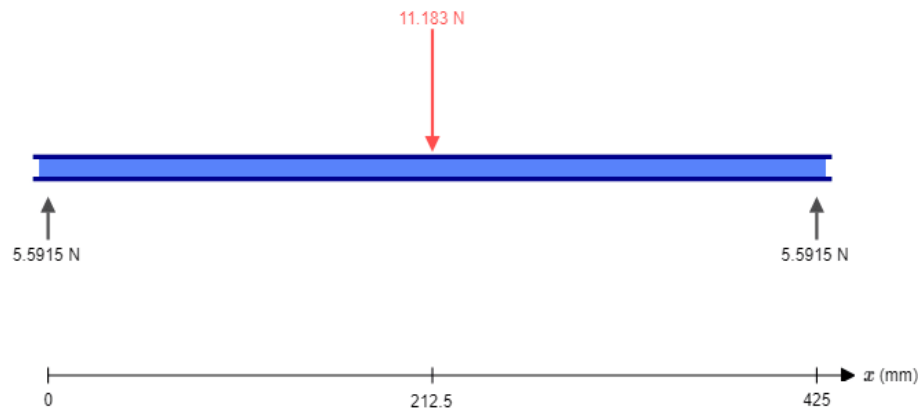


Figura 12. Gráfico de las reacciones presentes en el eje. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

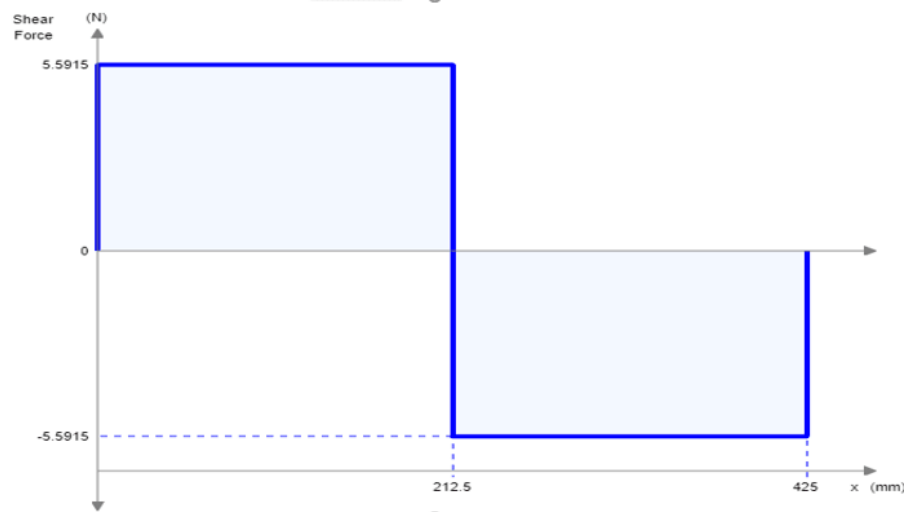


Figura 13. Diagrama de fuerza cortante. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

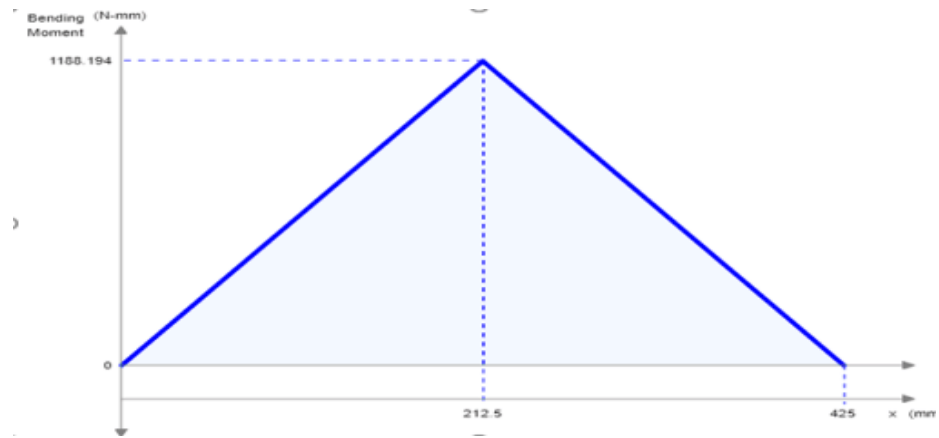


Figura 14. Diagrama de momentos en el eje. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

$$RA + RB = P = 11,183$$

$$RB = 5,5915 \text{ N}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{220 \text{ MPa}}{2} = \mathbf{110 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{32 * M_{max}}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{32 * 1188.19 \text{ N} \cdot \text{mm}}{3,14 * d^3}$$

$$d^3 = \frac{32 * 1188.19 \text{ N} \cdot \text{m}}{3,14 * 110 \text{ MPa}}$$

$$\mathbf{d = 4,7918 \text{ mm}}$$

2.3 El torque requerido para hacer girar el tornillo

$$T = \frac{F * De}{2} * \left[\frac{p + \pi * f * De}{\pi * De - f * p} \right] \quad (7)$$

Donde:

De: Diámetro exterior del tornillo (mm)

f: Coeficiente de fricción

p: Paso del tornillo (mm)

Datos

De 8 mm

f: 0.15

p: 8mm

$$T = \frac{11,183N * 8mm}{2} * \left[\frac{8mm + \pi * 0.15 * 8mm}{\pi * 8mm - 0.15 * 8mm} \right]$$

$$T = 0.0219 \text{ N.m}$$

Según el dato obtenido se escogió un motor paso a paso nema 17 cumple con el torque necesario para mover la varilla roscada ya que el valor mostrado por la ficha técnica es de 0.59 N m.

2.4 Análisis dinámico

2.4.1 Cálculo de diámetro para tornillo en eje “Y”

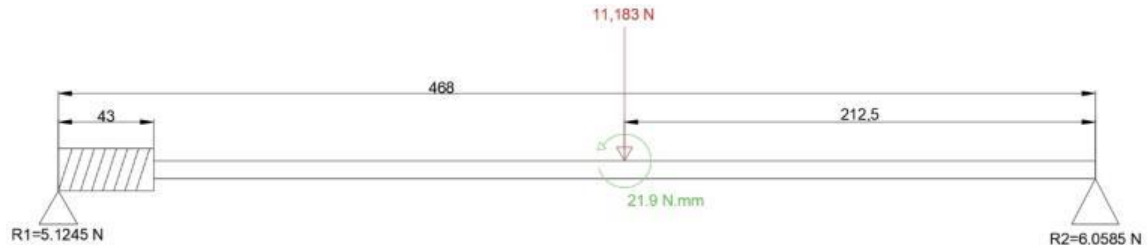


Figura 15. Diagrama de fuerzas en el tornillo. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

$$\sum MA = 0$$

$$0,0219 \text{ N.m} - 11,183(0,2555m) + R2(0,468m) = 0$$

$$R2 = 6.058 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R1 + R2 = 11,183 \text{ N}$$

$$R1 = 6.058 \text{ N} - R2$$

$$RA = 5.1245 \text{ N}$$

En el análisis dinámico del tornillo se recurre a las siguientes ecuaciones:

Se utiliza las ecuaciones del esfuerzo flexionante en tensión y la ecuación de esfuerzo cortante máximo.

$$\sigma_{adm} = \frac{32 * Mmax}{\pi * d^3}$$

$$\tau = \frac{16 * T}{d^3 * \pi} \quad (8)$$

Para obtener el diámetro se aplica la ecuación del esfuerzo equivalente. [28]

$$|\sigma_{equi}| = \sqrt{\left(\frac{32 * Mmax}{\pi * d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 * T}{d^3 * \pi}\right)^2} \quad (9)$$

$$\sqrt{\frac{(2 * Mmax)^2 + 3(16 * T)^2}{(\sigma_{equi})^2 \pi^2}}$$

$$d = \sqrt{\frac{(2 * 1309,31N . mm)^2 + 3(16 * 21.19N . mm)^2}{(110N/mm^2)^2 \pi^2}}$$

$$d = 4.9495$$

Con este cálculo se confirma la selección de la varilla roscada, por lo que se escoge dos varillas de 8mm para el eje “X” y eje “Y” por facilidad de adquisición y estética.

2.5 Cálculos de flexión V-SLOT 2020

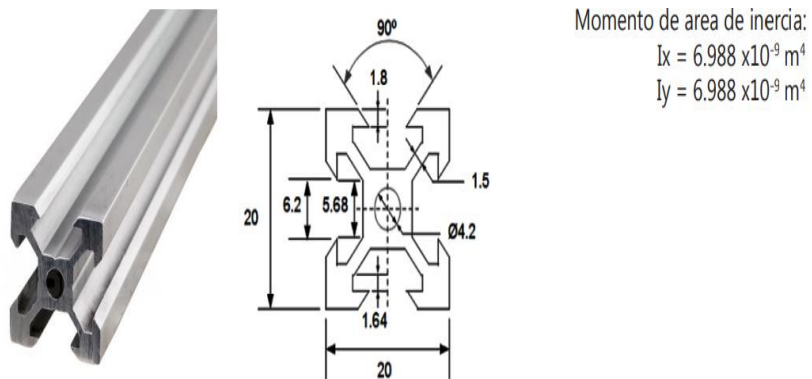


Figura 16. Perfil V-SLOT 2020 perteneciente a la base. [29]

Para el cálculo de deflexión de la estructura principal del proyecto se basó en el catálogo HEPCO, donde indica los datos y ecuaciones necesarias de los diferentes tipos de perfiles de aluminio V-SLOT.



Figura 17. Diagrama de flexión del perfil bajo carga concentrada estática. [30]

En la figura se puede apreciar 3 diferentes criterios para el cálculo, se escogió el criterio #3 con la siguiente formula [30].

$$d = \frac{F * L^3}{192 * E * I * 10^4} \quad (10)$$

Donde:

d : Flexión (mm)

F : Carga puntual (N)

L : Longitud sin soporte (mm)

E : Módulo de elasticidad (N/mm²)

I : Momento de inercia (cm⁴)

Datos

F : 13.72 N

L : 460mm

E : 70000N/mm²

I : 0.6988 x10⁻⁹ cm⁴

$$d = \frac{13,72 \text{ N} * (460\text{mm})^3}{192 * 70000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 6988 \text{ mm}^4 * 10^4}$$

$$d = 1,4219 * 10^{-6} \text{ mm}$$

Se deduce que la flexión del perfil V-SLOT es muy mínima y no afecta a la estructura base del proyecto ni demás componentes del proyecto.

2.6 Parante para el eje X

Para aprobar el uso del material PLA (Ácido Poliláctico) como el mejor material para utilizar en las piezas realizadas por impresora 3D entre ellas los parantes, que funcionan como columnas que soportan a la varilla roscada, a los ejes guías y uno de ellos un motor paso a paso ,se obtuvo datos mediante la investigación de un documentos que registra valores de compresión en el material PLA, dicho documento registra datos del estudio de una probeta cilíndrica de 25,4mm de alto y un diámetro de 12,7 [31].

Tabla 1. Deformación de probeta de PLA a compresión

Esfuerzo (MPa)	Deformación (mm/mm)
15	0,015
40	0,035
60	0,05

Datos de deformación de probetas a compresión [31].

Se determinó que el material PLA para el parante, será útil al 100%, pues estará sometido a una fuerza axial de 9,211N, el cual es menor a la fuerza de $6.16 \cdot 10^7$ N de resistencia dato obtenido mediante el documento [31].

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL PROTOTIPO

En el presente capítulo se realizó la selección de elementos y materiales para posteriormente diseñar el prototipo con los elementos electrónicos y mecánicos para su funcionamiento.

Para diseñar el prototipo se utilizó el software Autodesk Inventor, en este programa se dibujará y ensamblará los elementos para obtener un modelo 3D, de esta manera se pretende lograr mayor precisión de construcción además de ahorrar tiempo al momento de ensamblar todas las partes.

3.1 Requerimientos

Uno de los requerimientos para iniciar el proyecto es realizar una la búsqueda de los elementos apropiados para máquinas CNC que compondrán el prototipo de cortadora, la máquina estará expuesta al calor al ser accionada, por lo que se debe conocer la reacción de los distintos materiales.

La velocidad y precisión son otros requisitos indispensables para realizar grabado o corte, los mecanismos de movimiento son aspectos mecánicos que se estudiarán para que puedan ser capaces de seguir coordenadas y permitir que el láser realice los desplazamientos en los ejes X, Y.

Entre los aspectos eléctricos, el principal requerimiento será que el prototipo de cortadora láser funcione con una alimentación eléctrica de 110v.

3.1.1 Elementos a adquirir

Tabla 2. Elementos a adquirir

Elementos	Cantidad
Varillas roscadas de 12mm	2
Perfiles de aluminio 2020 x 1m	2
Esquineros + Tuerca para perfil 2020	4
Tuercas de bronce	2
Acoples flexibles 5mm a 8mm	2
Motores Nema17	2
Eje cromado de alta frecuencia de 1.2m x 8mm Ø	2
Piezas de Impresiones 3D	13
Tornillo de 4 entradas de acero inoxidable 1m x 8mm Ø	1
CNC Shield	1
Driver A498	2
Driver TF-LD8A	1
Láser de 15W	1
Fuente de alimentación 12V	1

Descripción de elementos y la cantidad a utilizar. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

3.2 Diseño conceptual

3.2.1 Parámetros

El prototipo cuenta con una mesa de trabajo que poseerá la medida de 30cm en el eje “X” y 30 cm en el eje “Y”, entre otros parámetros se encuentran:

- Medidas generales del prototipo: 50 x50 cm
- Área máxima de trabajo: 625 cm²
- Altura de la maquina: 18.3cm

3.2.2 Funcionalidad del diseño

- Diseñar en CAD y transformar a CAM.
- Remitir el diseño CAM al microcontrolador.
- Enviar datos del microcontrolador a los motores.

- Girar las varillas roscadas que se mueven solidarias a los motores paso a paso.
- Desplazar el láser de manera longitudinal (eje X).
- Desplazar la mesa de forma trasversal (eje Y).
- Fijar punto de origen.
- Iniciar trabajo de corte o grabado.

3.2.3 Ejes horizontales “X” y “Y”

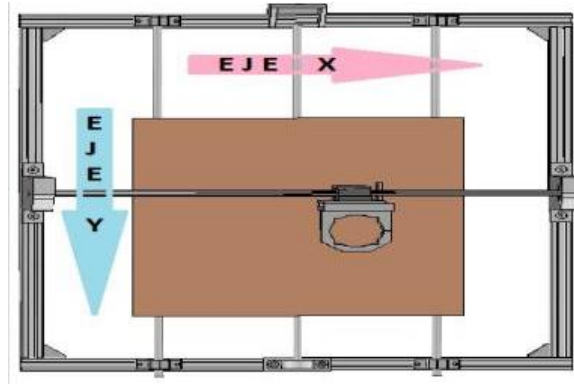


Figura 18. Prototipo ejes “X” y “Y”. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

En los ejes horizontales “X” y “Y” se realizan los desplazamientos del módulo láser y de la mesa de trabajo respectivamente.

3.3 Diseño mecánico

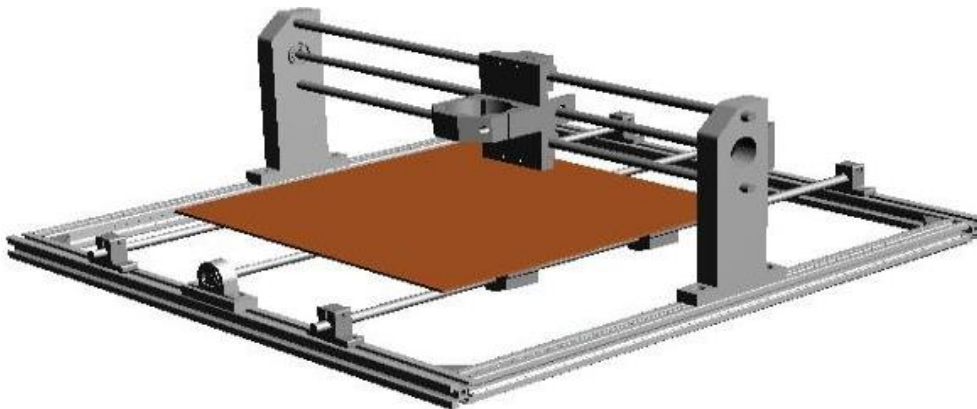


Figura 19. Diseño 3D del prototipo. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

3.3.1 Ejes guías

Para aportar precisión, velocidad y rigidez al sistema en los movimientos lineales se utilizarán 4 ejes cromados de alta frecuencia que serán de 8mm de diámetro y 50cm de largo siendo estos un sistema de guiado, dos de los ejes contribuyen al desplazamiento del láser en el eje “X” y los dos restantes al desplazamiento de la mesa en el eje “Y”.

3.3.2 Transmisión por varilla rosada

Para escoger una transmisión por varillas roscadas se investigó y se estableció criterios como un valor porcentual para calificar las diferentes alternativas de transmisión de movimiento para el prototipo CNC. La matriz califica los criterios con valores de 1 a 3, dando el valor más alto según la descripción del criterio, para obtener el resultado se sumará todos los porcentajes con respecto a cada calificación.

Tabla 3. Matriz de alternativas para elegir el tipo de transmisión

Ponderadores %	24%	20%	18%	15%	13%	10%
Alternativas / Criterios	Bajo Costo	Alta Precisión	Facilidad en instalación	Velocidad de avance	Alta Eficiencia	Seguridad industrial
Correa dentada	2 (0.48)	2 (0.40)	2 (0.36)	3 (0.45)	1 (0.13)	2 (0.20)
Transmisión por varilla rosada	3 (0.72)	2 (0.40)	3 (0.54)	2 (0.30)	3 (0.39)	3 (0.30)
Husillo	1 (0.24)	3 (0.60)	3 (0.54)	2 (0.30)	2 (0.26)	3 (0.30)
Piñon cremallera	2 (0.48)	1 (0.20)	2 (0.36)	1 (0.15)	2 (0.26)	2 (0.20)

La matriz de alternativas establece seis criterios para obtener la mejor alternativa de transmisión de movimiento. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Tabla 4. Resultados de la matriz de alternativas

Alternativas / Criterios	Puntaje de la alternativa
Correa dentada	2.02
Transmisión por varilla roscada	2.65
Husillo	2.24
Piñon cremallera	1.65

Resultados de las calificaciones a las alternativas propuestas.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Según la matriz se obtuvo un mayor valor en la alternativa de varilla roscada con un puntaje de 2.65, por lo que se utilizara una varilla roscada en cada eje.

Uno de los métodos mecánicos para transmitir el torque producido por los actuadores y convertir el movimiento rotativo del motor en movimiento lineal, es el uso de varillas roscadas, esta aplicación permite el desplazamiento del láser en el eje “X” y de la mesa de trabajo en el eje “Y”.

Tabla 5. Características de la varilla roscada

Características	Descripción
Material	Acero inoxidable
Numero de hilos	4
Diámetro	8 mm
Longitud	500 mm
Paso por vuelta	8 mm

Características principales de la varilla roscada. [32]

Para aplicar la transmisión por tornillo se escogerá una varilla roscada de métrica M8 con una longitud de 500mm para la conexión con el motor paso a paso se utilizó un acoplador flexible que evitan revotes y puede funcionar a velocidades constantes. La varilla será de múltiple entra ya que tienen una aplicación especial en la transmisión de movimientos

pues generan un rápido avance. Una de las ventajas de la utilización del tornillo es que obtenemos mayor precisión ya que con la correa se adquiere más velocidad, pero menos fuerza y no queda "anclada" es decir el láser se puede mover aun con los motores desactivados.

3.3.3 Elementos impresos en 3D

Para las piezas se utilizará un polímero identificado como PLA este es versátil para una variedad de aplicaciones en diferentes industrias como es la textil, médica y sobretodo en impresiones 3D.

a. Soporte para motor

La pieza es utilizada para sujetar el motor paso a paso que se utilizara en el eje “Y”, se encuentra anclada al perfil de aluminio 20 x 20, esta pieza consta de 6 agujeros pasantes, los cuales 4 sujetan al motor, 2 agujeros que fijan la pieza al perfil de aluminio y el agujero restante es para el eje del motor.

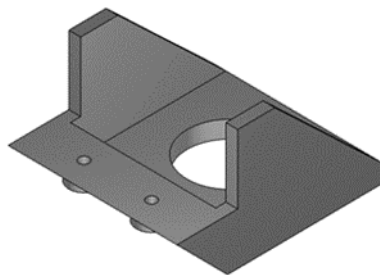


Figura 20. Soporte para motor PAP. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

b. Alojamiento del rodamiento

La pieza mostrada en la figura 10 funciona como un punto de apoyo que aloja el rodamiento y la varilla roscada que gira conformé sea el movimiento del motor paso a paso, este elemento es fijado al perfil de aluminio mediante dos tornillos.

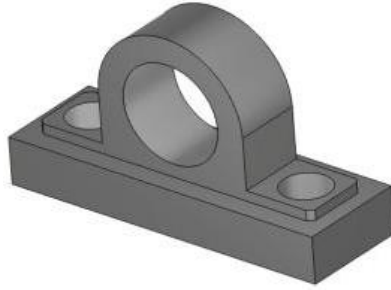


Figura 21. Soporte de la varilla roscada. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

c. Columna para eje X

Se utiliza dos piezas idénticas mostradas en la figura 11 cumplen la función de columnas, en la cual se posiciona una varilla roscada de métrica 8 y dos ejes lisos cromados de 8mm de diámetro, en una de estas se sujeta el motor paso a paso ingresando el eje del motor en el agujero de 26mm de diámetro, el cual transmitirá el movimiento en el eje “X”.

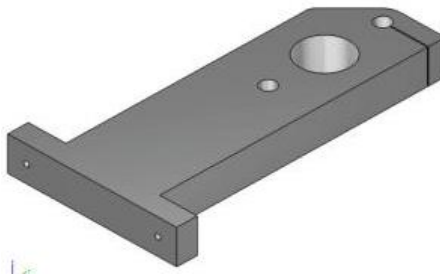


Figura 22. Columna para eje X. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

d. Ángulo de unión

Este ángulo consta de un orificio de 8mm de diámetro por el que traspasa la varilla roscada, y dos agujeros para tornillos de 3mm que sujetan la mesa, esta pieza tiene la función de articular la mesa y la tuerca de bronce de tal manera que cuando se mueva la tuerca, la mesa de trabajo podrá avanzar o retroceder.

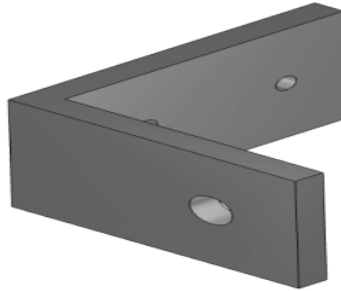


Figura 23. Angulo de unión Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez.

e. Junta entre el soporte del láser y tuerca de bronce

Esta pieza mide 10cm de largo por 5cm de ancho en el área mayor, la cual se sujetará a los rodamientos lineales por medio de 8 tornillos de 5mm de diámetro, adicionalmente consta de una pestaña en la que se encuentra un agujero de 8mm de diámetro por el cual pasará la varilla roscada y está a la vez se sujeta a la tuerca de bronce.

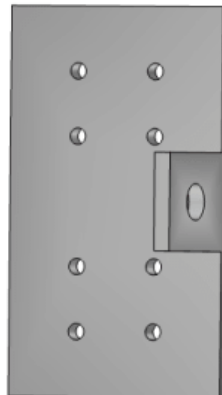


Figura 24. Soporte para laser. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

f. Aumento para mesa

Para poder conectar los rodamientos lineales con la mesa de trabajo se utilizan 4 piezas mostradas en la Figura 25, las mismas que brindaran altura a la mesa de trabajo, constan de 4 agujeros en cada una de las piezas para introducir tornillos de 5mm de diámetro que los conectaran a la mesa.



Figura 25. Aumento para mesa. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

g. Esquineros de la mesa

Se utilizan 4 esquineros, los cuales se muestran con un agujero de 3mm diámetro cada uno de ellos para que sean atornillados a la mesa de trabajo.

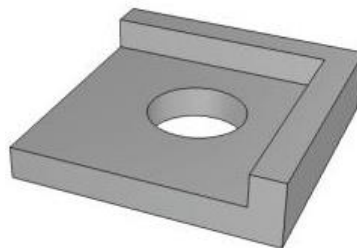


Figura 26. Angulo de unión Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez.

h. Soporte para el módulo láser

El soporte permitirá introducir el láser y sujetarlo a la altura deseada. Esta pieza está sujeta a los rodamientos lineales del eje “X” mediante 2 pares de tornillos de 5 mm de diámetro y el módulo laser mantendrá su ajuste mediante un tornillo y tuerca.

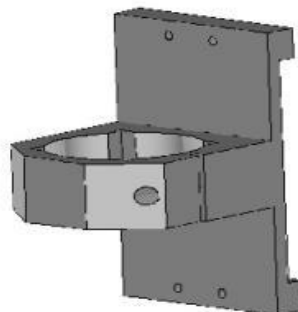


Figura 27. Soporte para el módulo láser. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

3.4 Elementos electrónicos

3.4.1 Módulo de diodo láser de 15 Watts

El módulo láser utilizado será de tipo semiconductor, este es un cabezal que será ubicado en el eje X del prototipo, está hecho de aluminio de alta calidad, este módulo de 15W permitirá, grabar madera, cuero, acrílico adicionalmente cortar madera, espuma, fomix y otros materiales fácilmente. El módulo estará acompañado de un ventilador de disipación de calor y controlador TTL para módulo láser de alta potencia también conocido como driver para láser con modulación todo-nada, el TTL se puede modular, 0v-off y 5v on.

Tabla 6. Características del módulo láser

Especificaciones	Detalle
Potencia del láser	15 W
Tamaño	8.3 x 4 cm
Longitud de onda láser	450nm
Longitud Focal	Longitud focal fija.
Material	Aluminio + Latón
Voltaje de entrada	12 V CC
Temperatura de funcionamiento	15-45 Celsius
Controlador TTL	0V –off, 5V on
Puede grabar	MDF/balsa/papel/madera/tela/plástico/cuero/ papel de espuma/aluminio anodizado /cerámica/piedra/acero inoxidable
No puedo grabar	Metal/vidrio/PCB/material reflectante/material transparente

Se describen las especificaciones fundamentales para su funcionamiento. [33]

3.4.2 Motor Nema 17

Se utilizó dos motores paso a paso por su precisión al controlar la posición del eje, además de brindar un exente torque.



Figura 28. Motor Paso a Paso (17SH3001-20B). Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Tabla 7. Características del motor Paso a Paso (17SH3001-20B)

Especificaciones	Detalle
Motor a pasos tipo	Bipolar
Flanaje:	Nema 17
Corriente	1.2 Amperes
Voltaje de operación	12 V
Torque	0,59 N.m
Ángulo del paso	1.8 grados
Pasos por vuelta	200
Diámetro del eje	5mm

Descripción de las especificaciones principales del motor Paso a Paso (STP-MRT-17048). [34]

3.4.3 CNC Shield

La CNC Shield, ayuda a interconectar y controlar con facilidad los dos motores paso a paso utilizados para los ejes “X” y “Y”, a la placa CNC Shield se le agrega un Arduino Uno, dos Drivers A4988 y una fuente de alimentación DC de 12V. Es totalmente vinculable con la interfaz de control GRBL y puede ser utilizada con cualquier modelo de Arduino; además simplifica la conexión entre todos los elementos requeridos para el montaje de la maquina cortadora laser.

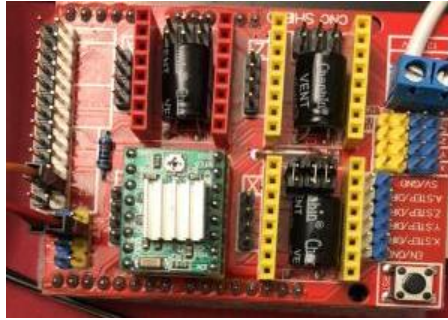


Figura 29. CNC Shield. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Tabla 8. Características de la CNC Shield

Especificaciones	Detalle
Voltaje de alimentación	12V-36V DC
Shield compatible con	Arduino Uno, R3 y Arduino Leonardo
Compatible con firmware GRBL	
Soporta hasta 4 ejes independientes (X, Y, Z, y uno duplicado)	
Descripción de las especificaciones de la CNC Shield. [35]	

3.4.4 Driver A4988

El Driver A4988 es un controlador utilizado para simplificar el control de los motores paso a paso desde el Arduino, este controlador permitirá la protección y manejo del alto voltaje e intensidad, que requieren los motores bipolares paso a paso.



Figura 30. Driver A4988. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Tabla 9. Características del Driver A4988.

Especificaciones	Detalle
Modelo	A4988
Intensidad máxima	2A
Tensión máxima	25V
Microstep	1/16
Rs típico	0.05,0.1 o 0.2
Descripción de las especificaciones del Driver. [36]	

En la configuración de driver es indispensable la calibración correcta del voltaje de referencia para no perder pasos en el motor por bajo voltaje, para este proceso se utilizará la siguiente fórmula [36] :

$$V_{ref} = I_{max} (8 * R_s) \quad (11)$$

Donde:

V_{ref} : Voltaje de referencia o voltaje máximo.

I_{max} : Es la intensidad máxima del motor.

R_s : El valor de las resistencias shunt del driver.

$$V_{ref} = 1.2 \times (8 * 0.1)$$

$$V_{ref} = 0.96 V$$

3.4.5 Fuente de Alimentación



Figura 31. Fuente de alimentación CH-120-12. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Se utilizó una fuente de alimentación de 110V AC a 12V DC, ya que la corriente de la fuente es de 2 amperios aproximadamente por cada motor. Al tener una buena disipación del calor proporciona la energía de manera estabilizada.

Tabla 10. Características de la fuente de alimentación CH-120-12

Especificación	Detalle
Modelo	CH-120-12
Voltaje de entrada	110~220V AC
Tensión de salida:	12V DC
Corriente nominal de salida	10A
Material de carcasa	Caja de metal / aluminio
Temperatura de trabajo	0 ~ 40°C

Descripción de las especificaciones de la fuente. [37]

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

Una vez realizado el diseño estructural en inventor y haber establecido el circuito adecuado se dio paso a la construcción física del prototipo de cortadora laser CNC.

4.1 Armado de la base

Se inició formando el marco perteneciente a la base de la máquina, con perfiles de aluminio extruido V - slot 20x20 los mismo que fueron unidos con ángulos de aluminio y prisioneros M3 apropiados para estos perfiles, el marco tiene una dimensión de 50 x 50 cm.

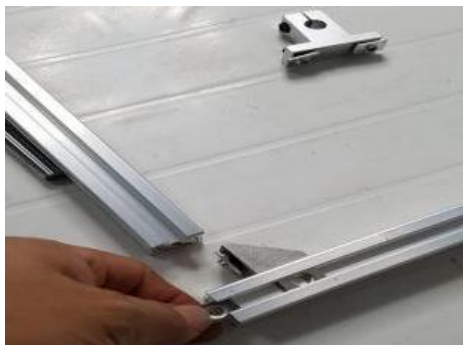


Figura 32. Unión de perfiles base. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Para la generación de movimiento en las coordenadas “X” y “Y” se recurrió a la implementación de dos motores paso a paso Nema 17, los mismos que transmitirán el movimiento circular a los tornillos sin fin, estos se encuentran unidos con acoples flexibles de 5mm a 8mm. Para ubicar el tornillo sin fin en el eje “Y” se realizó dos piezas en impresión 3D las mismas que serán colocados en los extremos, una para sujetar el motor paso a paso y otra que hospedara el rodamiento de 8mm en el cual se encuentra el tornillo sin fin.



Figura 33. Componentes de sujeción del motor y tornillo sin fin en el eje “Y”. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

En el eje “Y” se utilizó dos ejes cromados de alta frecuencia paralelos al tornillo sin fin, para la sujeción de los mismo se instaló soportes verticales SK8 anclados a los perfiles de aluminio pertenecientes a la base. Para la posterior colocación de la mesa de trabajo se coloca en el tornillo sin fin la tuerca de bronce que estará sujeta a la mesa de trabajo al igual que dos pares de rodamientos lineales SC8UU que se deslizaran en cada eje cromado, que permitirían el transporte de la mesa a lo largo del eje “Y”.



Figura 34. Componentes para eje “Y”. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Para el sistema de transmisión del eje “X” se implementan los mismos elementos como la varilla roscada con su respectiva tuerca, rodamientos, ejes de acero cromado. Para la sujeción se realizó piezas con impresión 3D las cuales cumplen con la función de columnas, lo que le dará altura al sistema del eje “X” y soportará las varillas cromadas y la varilla roscada al igual que el motor paso a paso Nema 17.

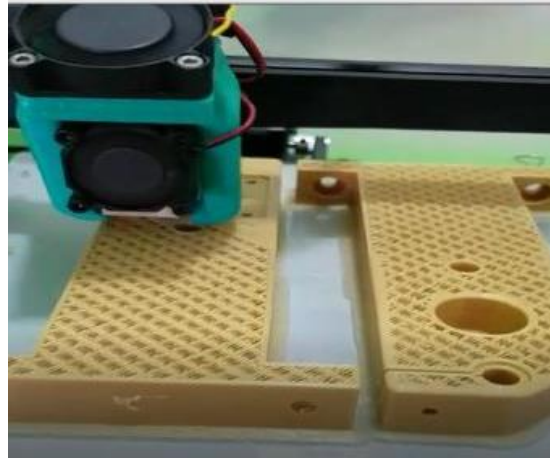


Figura 35. Impresión 3D de piezas columnas para el eje “X”. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

En el eje “X” se colocará el módulo láser conjunto con un soporte realizado en impresión 3D, el mismo que se moverá en conjunto con la tuerca de bronce y apoyado por dos rodamientos lineales SC8UU ubicados en los ejes cromados.



Figura 36. Impresión 3D de piezas columnas para el eje “X”. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

4.2 Circuito implementado para el control del prototipo

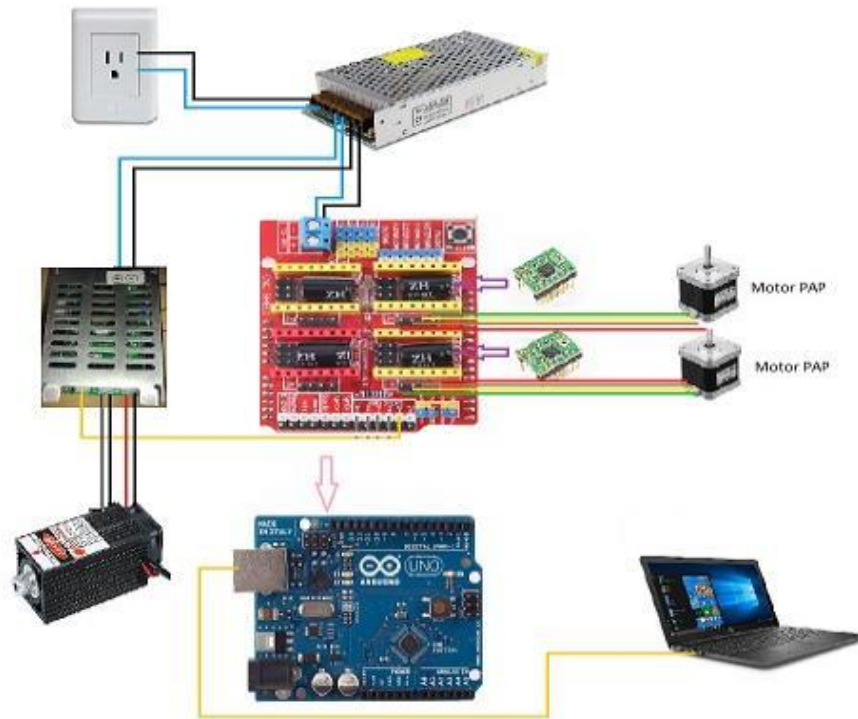


Figura 37. Circuito implementado para el control del prototipo. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

4.3 Calibración

Tabla 11. Medición de Voltajes y Corrientes

Componentes	Voltaje (V)
Fuente	110 V
Drivers A4988 eje “X”	0.96 V
Drivers A4988 eje “Y”	0.96 V
CNC Shield	12 V
Arduino	9 V
Ventilador	12.12 V
Control TTL	5.23V

Valores medidos del voltaje de los elementos electrónicos.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

4.4 Desarrollo de software

Para el desarrollo de la interfaz completa utilizada para grabar o cortar, se requieren los siguientes softwares.

Tabla 12. Requerimientos de software.

Requerimientos	Características
Arduino IDE	Es una aplicación propia de Microsoft Store para Windows la programación que utiliza es el lenguaje Java. Se utilizará para escribir y cargar la librería GRBL en la placa Arduino.
Librería GRBL para Arduino	GRBL es un firmware que fragmenta los movimientos en trapecios para cada motor. Divide los movimientos en una lista de líneas rectas y calcula la aceleración y frenada de cada segmento, en cada eje.
Inkscape	Es un software de vectores gráficos, que sirve como un potente editor de gráficos vectoriales SVG
LáserGRBL	Es un software que permite transmitir el código G a la placa Arduino para corte o grabado láser.

Descripción de software y librería para la interfaz que controla la máquina.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

4.4.1 Vectorizar imágenes en Inkscape

Para el proceso de vectorización de una imagen y obtener el código G, se comienza abriendo la interfaz de Inkscape, se dirige a la pestaña “archivo” y se ingresa a la opción *propiedades del documento*, en la siguiente ventana se podrá ingresar las medidas máximas con las que se quiere trabajar la imagen, en este caso será ancho 50mm y altura de 60mm seguido a esto se debe cerrar la ventana.

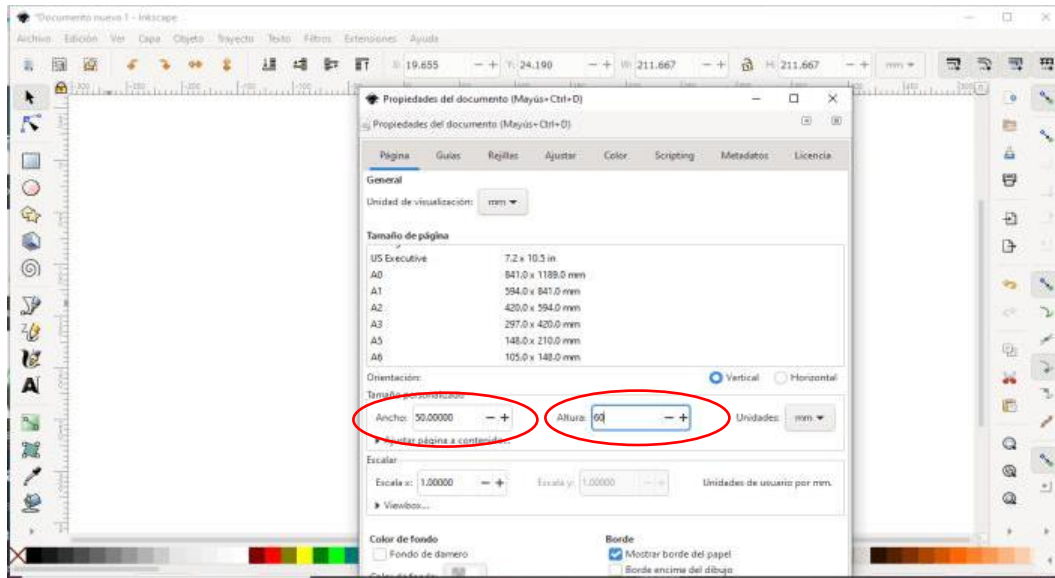


Figura 38. Medidas de ancho y alto, del documento. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

A continuación, se presiona nuevamente la pestaña “archivo” y se escoge la opción *importar*, se abrirá una venta nueva en la que se escoge la carpeta (corte laser que contiene la imagen a vectorizar, una vez seleccionada la imagen deseada se da clic en *abrir*.

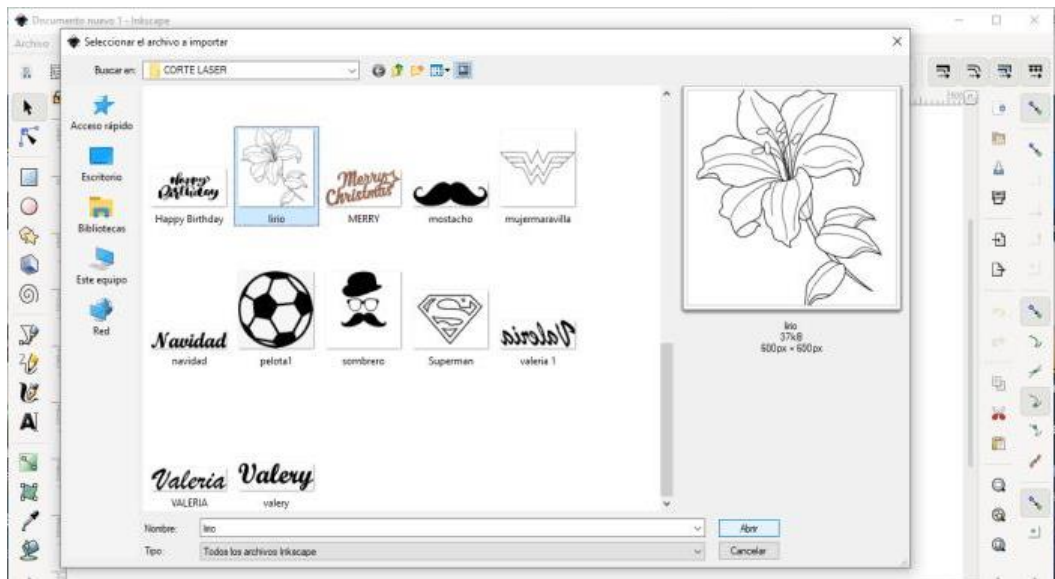


Figura 39. Carpeta de imágenes en formato.jpg. Se realiza la selección de la imagen a ser importada.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

De forma automática se puede visualizar la imagen en la interfaz principal de la hoja de trabajo con las medidas anteriormente configuradas de esta manera se podrá centrar la imagen de manera fácil al tener delimitadas las medidas.

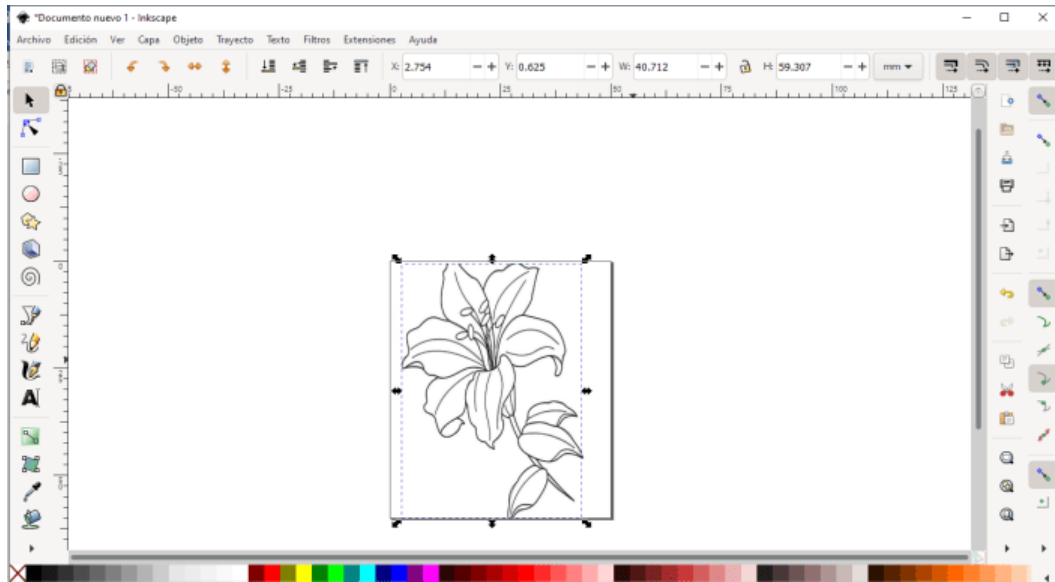


Figura 40. Visualización de la imagen seleccionada para vectorizar. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Luego se seleccionará la imagen y se presiona la pestaña “trayecto” posteriormente se escoge la opción *objeto trayecto*. Nuevamente se presiona la pestaña “trayecto” y se escoge la opción *vectorizar mapa de bits*.

En la nueva ventana se puede editar la definición de la imagen que será vectorizada, en la opción de “pasada simple” se seleccionará *trazado de línea central* valor de umbra será 4, en la pestaña de “varias pasadas” se seleccionara la opción *colores* en este caso el número de pasadas será colocada en 256 que es el valor máximo, las opciones escogidas se las puede ir visualizando dando clic en *actualizar* de esa manera se puede apreciar el avance de la edición con las diferentes opciones de ser necesario.

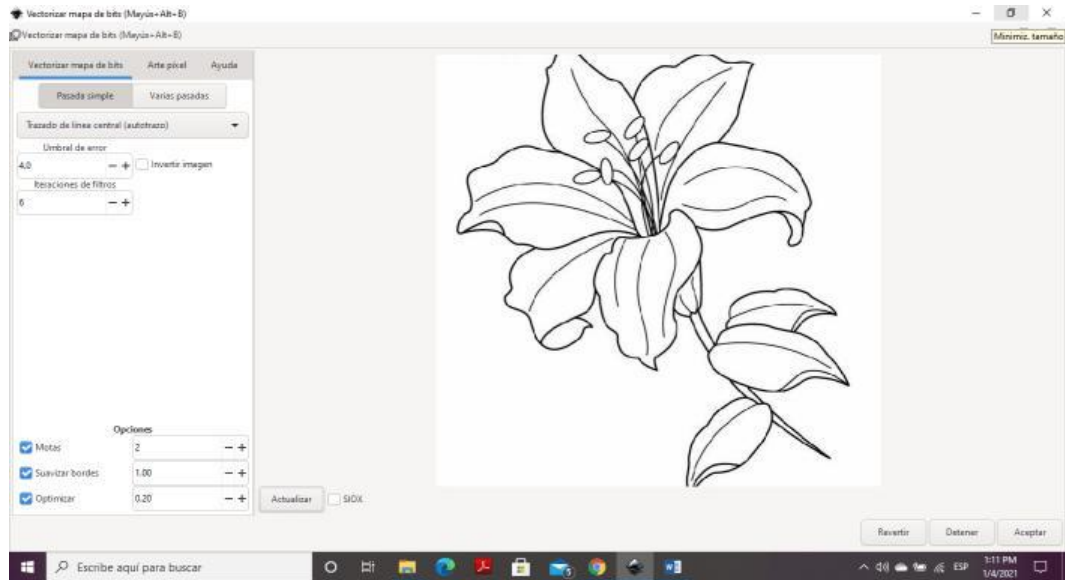


Figura 41. Ventana vectorizar mapa de bits. Aquí se podrá editar la imagen según el requerimiento.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Una vez cerrada la ventana de *vectorizar mapa de bits*, se visualizará la imagen original y la imagen ya vectorizada, la misma que se la podrá identificar al seleccionar y observar los puntos grises en la figura, por lo que es factible eliminar la imagen original, pues ya no será de utilidad en el proceso.

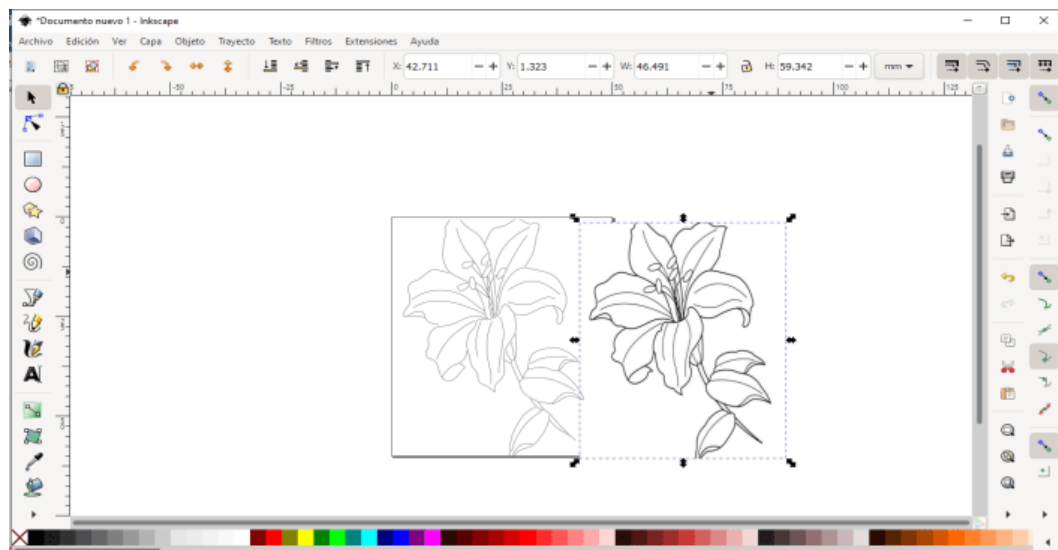


Figura 42. Imagen original he imagen vectorizada. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Posteriormente se ingresa nuevamente a la opción de *Gcodetools* a continuación se sitúa el cursor en *biblioteca de herramientas*, en la nueva venta se observará una lista de herramientas en el caso de la cortadora laser se utilizará la opción *graffiti*, se presiona *aplicar* e inmediatamente cerramos la ventana y observaremos un letrero con los detalles de la herramienta, velocidad y potencia del láser, los mismo que modificaremos con el editor de texto. En el ítem *feed* colocaremos 180 y en el ítem *gcode before path* se lo edita a 15000S que será la potencia máxima del láser instalado.

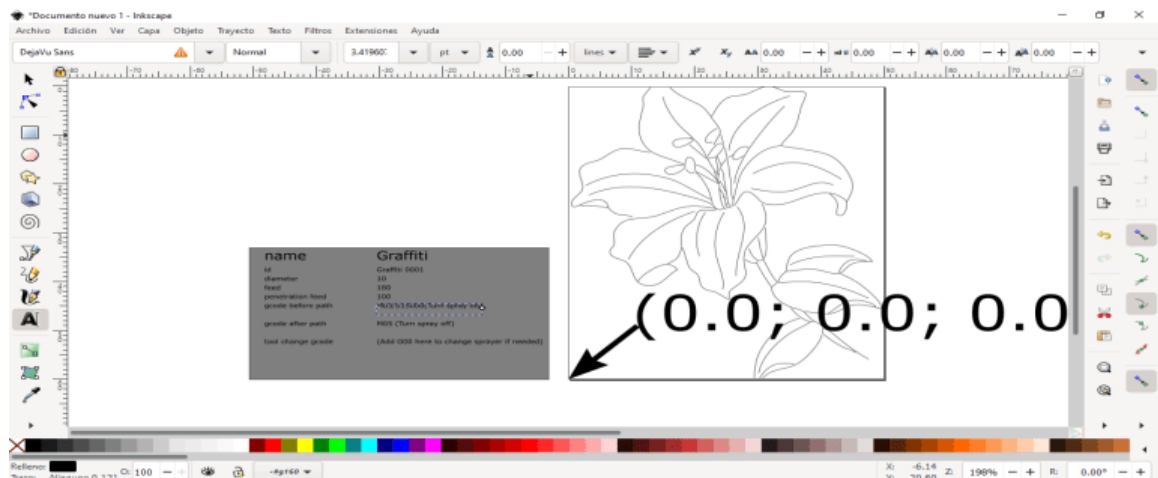


Figura 45. Aparición de características del proceso en la interfaz principal. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

En el rótulo se describen algunas características para la operación de grabado o corte láser entre ellas se describen:

- Diameter: Se configure el diámetro de la herramienta, en este caso el valor queda por defecto mostrado, ya que el láser se regula su enfoque manualmente.
- Feed: Se configura la velocidad del grabado o corte.
- Penetration feed: la velocidad de penetración no se edita, se deja el valor mostrado por defecto.

- Gcode before path: se presenta el comando M03 para la activación del láser y comenzar con el proceso, también se define la potencia del láser según requiera el proceso de corte o grabado.
- Gcode after path: El comando M05 significa la desactivación del láser después de ejecutar la ruta.
- Tool change gcode: Este comando se lo mantiene por defecto ya que no se necesita un cambio en la herramienta.

name	Graffiti
id	Graffiti 0001
diameter	10
feed	180
penetration feed	100
gcode before path	M03 S15000(Turn spray on)
gcode after path	M05 (Turn spray off)
tool change gcode	(Add G00 here to change sprayer if needed)

Figura 46. Rotulo con la descripción de herramienta y detalles del proceso. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Para generar el código se regresa a la opción *Gcode tolos* y se presiona *trayecto a Gcode*, se desplegará una ventana y en la pestaña *preferencias* se podrá editar el nombre del archivo en este caso *LIRIO* y se mantiene la extensión “ngc”, posteriormente se colocará en directorio la ubicación (*C:\Users\VAio\Documents\CORTE LASER*) de la carpeta designada para almacenará el archivo generado.

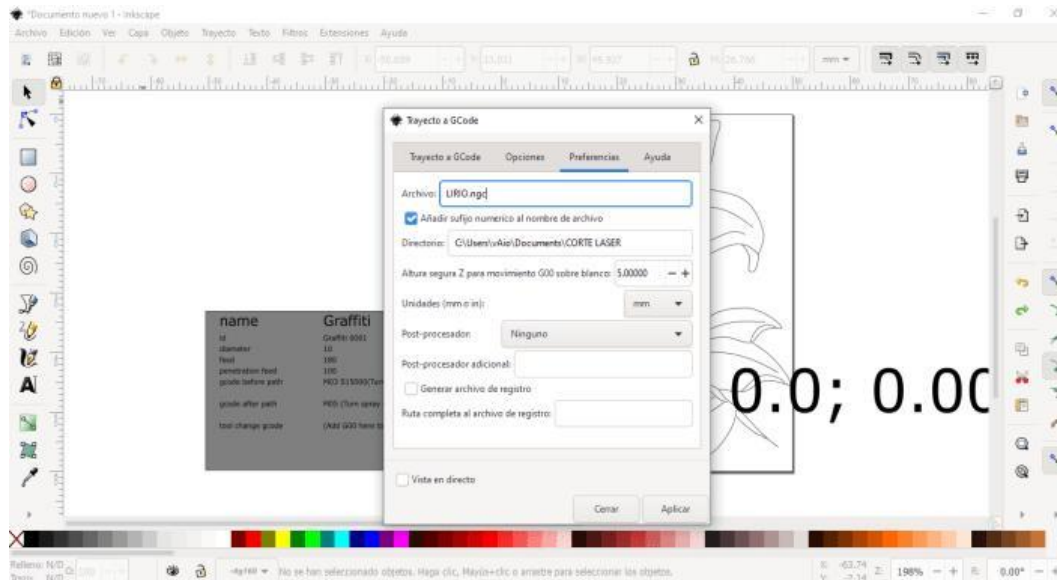


Figura 47. Venta de trayecto a Gcode, Sección *preferencias*. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Para que no se generen errores se debe presionar la pestaña Trayecto a Gcode y a continuación se presiona aplicar y posteriormente cerrar.

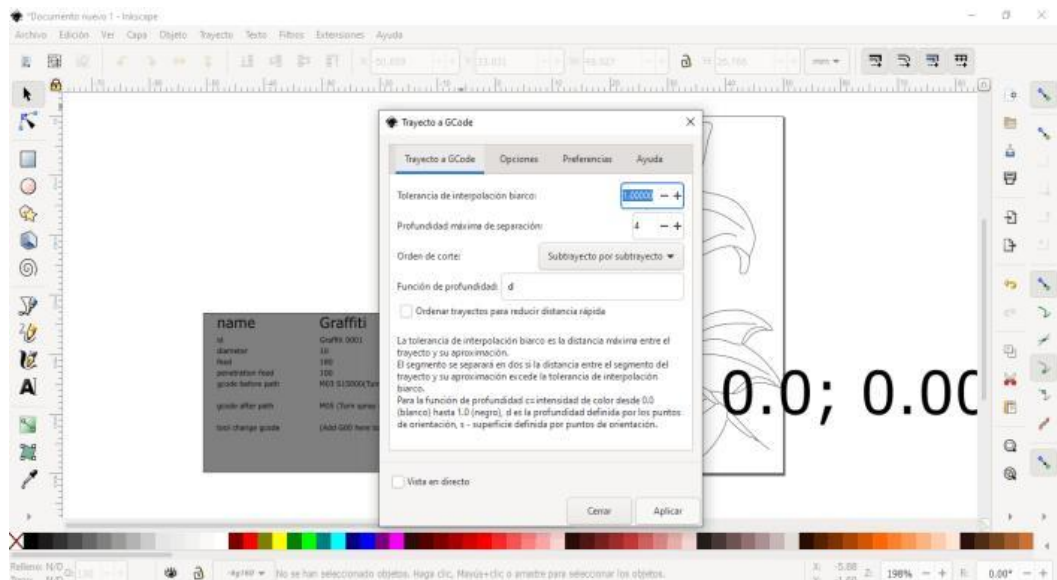


Figura 48. Venta de trayecto a Gcode. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Finalmente, el archivo con el código G se lo encuentra en el directorio ingresado en el paso anterior, el archivo *LIRIO* será abierto en un block de notas.

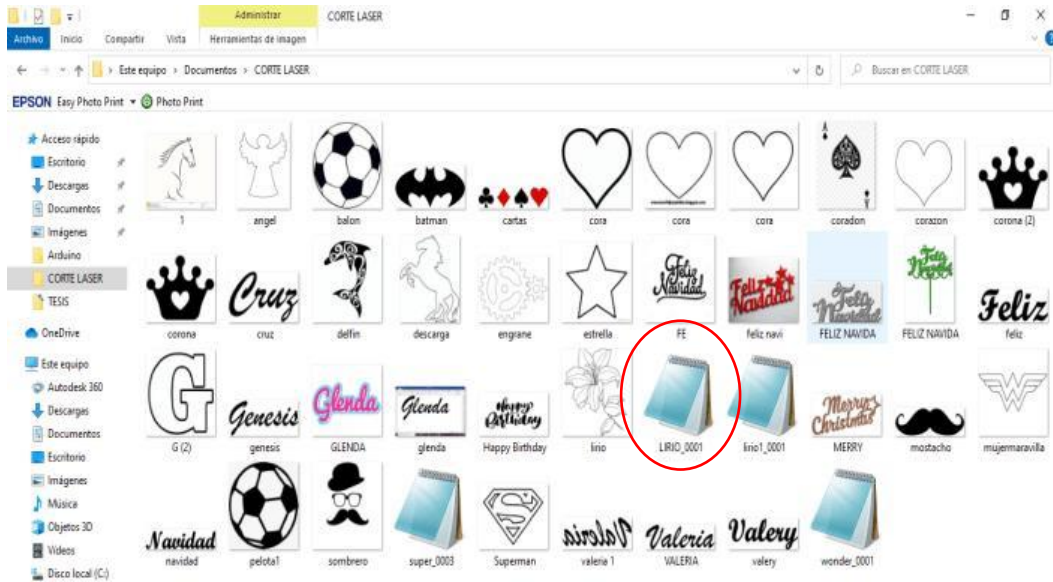


Figura 49. Carpeta que contiene el archivo con el código g. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

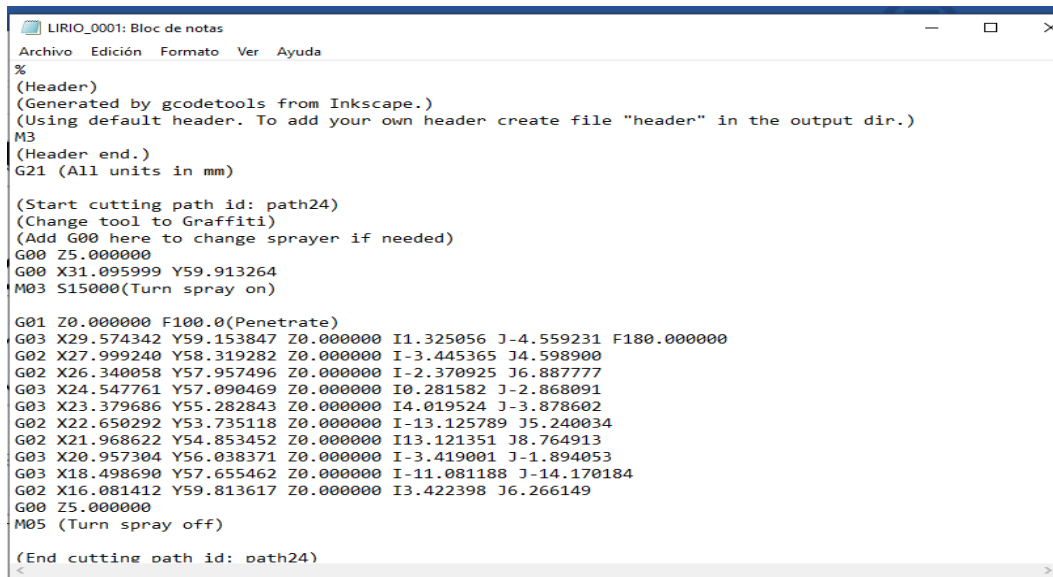


Figura 50. Código G abierto en bloc de notas. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

4.4.2 LáserGRBL

LáserGRBL (que técnicamente es un frontend de GRBL) puede transmitir código G-Code a Arduino y grabar imágenes, fotografías o logos con la ayuda de una herramienta de conversión interna. [38]

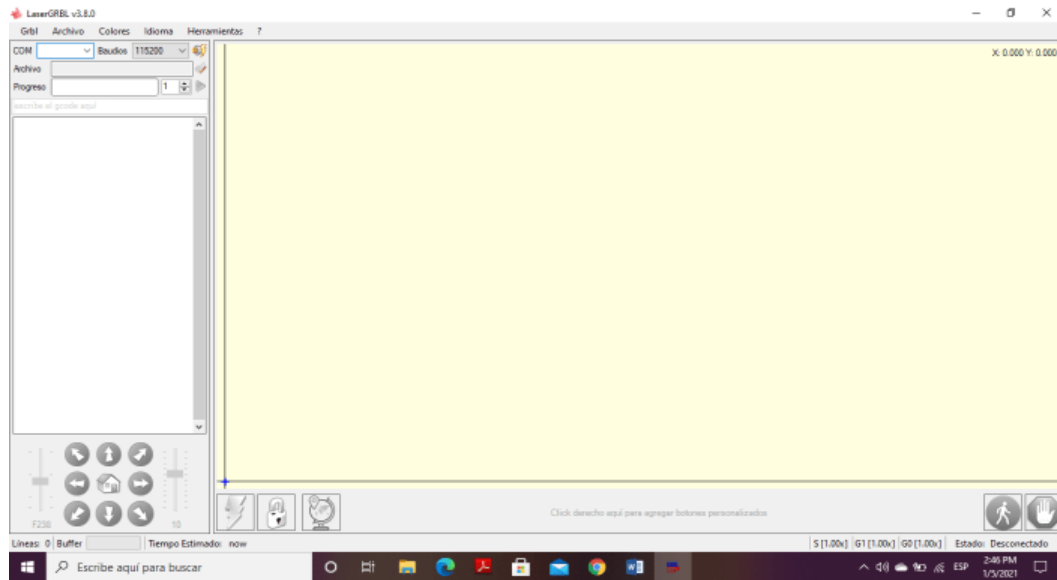


Figura 51. Interfaz principal del software Laser GRB. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Una vez abierta la interfaz de Laser GRBL se debe abrir la pestaña “archivo” y en ella escoger la opción *abrir archivo*, inmediatamente se visualizará una pantalla en la que se busca el archivo LIRIO_0001 generado anteriormente con Inkscape se da clic en abrir he inmediatamente se visualizará la trayectoria de la imagen seleccionada originalmente.

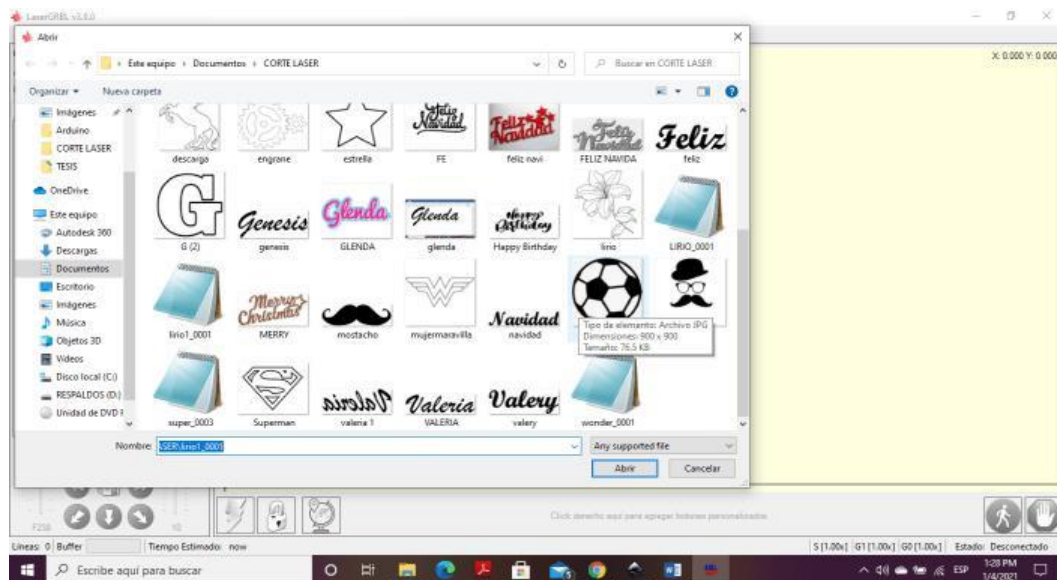


Figura 52. Seleccionar el archivo que contiene el código G. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Para comenzar con el proceso damos clic en conectar, esto significara que programa Laser GRBL se relacionara con la placa Arduino UNO, de esta manera podremos ya activar los motores para situar nuestro laser en el are que se desea comenzar.

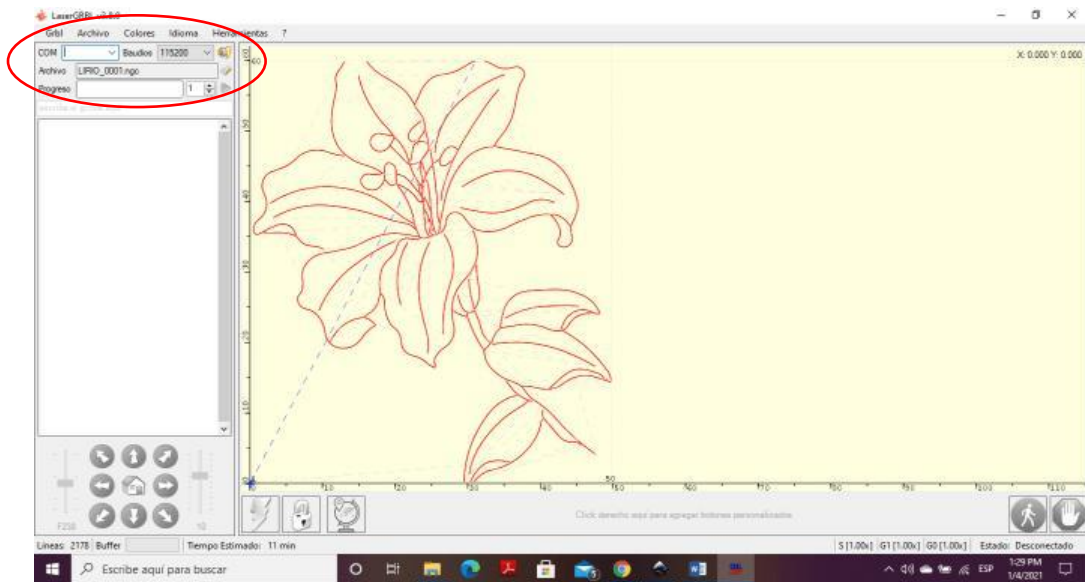


Figura 53. Trayectoria que recorrerá el láser. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

En la interfaz de LáserGRBL, únicamente debemos conectar el Arduino Uno con los iconos marcados en la flecha número 1, se activarán las flechas en la parte izquierda indicadas con la flecha 2, para ubicar el láser en el punto de origen que se prefiera damos clic en el icono mostrado en la flecha número 3, posteriormente se coloca en el icono verde para iniciar con la trayectoria.

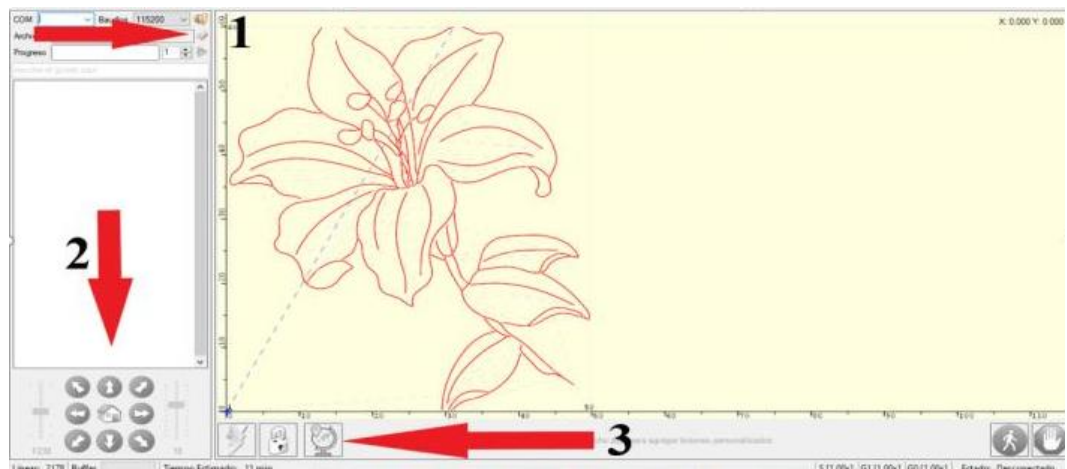


Figura 54. Iconos en la interfaz de LáserGRBL. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

CAPÍTULO V

FUNCIONAMIENTO

Este capítulo permite conocer el funcionamiento del prototipo de cortadora laser mediante una serie de ensayos. Las pruebas son realizadas modificando varios factores, como lo son el enfoque del láser, tipo de trayectoria, potencia del láser, velocidad de avance. En el anexo 5 se presenta valores referenciales, en el que se observa valores de potencia, velocidad, numero de pasadas según el material, espesor y tipo de proceso.

5.1 Enfoque del láser

Para modificar el tipo de enfoque hay que hacerlo manualmente con el haz de luz activado, se realizaron 4 ensayos dibujando líneas de 30mm de largo con una potencia de 15W y una sola pasada.

El primer ensayo se realizó con un enfoque de 0.5mm de diámetro obteniendo una línea de 0.25mm de grosor.



Figura 55. Haz de luz de 0.5mm de diámetro. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez



Figura 56. Línea 0.25mm de grosor. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

El segundo ensayo se manipulo el enfoque hasta que alcance el diámetro de 1mm de grosor dando como resultado una línea es de 0.5mm.



Figura 57. Haz de luz de 1mm de diámetro. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez



Figura 58. Línea 0.5mm de grosor. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Para el tercer ensayo el diámetro utilizado es de 2mm de diámetro del haz de luz enfoque, dando como resultado una línea de 1mm de grosor.



Figura 59. Haz de luz de 2mm de diámetro. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez



Figura 60. Línea 1mm de grosor. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

En el cuarto ensayo el enfoque fue de 4mm de diámetro del haz de luz obteniendo una línea de 1.5mm de espesor.



Figura 61. Haz de luz de 4mm de diámetro. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez



Figura 62. Línea de 1mm de grosor. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez



Figura 63. Comparación de grabado de líneas con diferentes enfoques. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

5.2 Ensayos con diferentes trayectorias.

En este ensayo se realizó figuras geométricas dibujadas originalmente en AutoCAD, grabadas con diferentes potencias del láser y se verificará el margen de error de las medidas en el grabado y el tiempo en cada una de ellas.

Tabla 13. Descripción de ensayos.

Figura Geométrica	Potencia del láser.	Medidas (mm)	Margen de error	Tiempo de grabado (segundos)
Circulo	10W	Diámetro: 30mm	$\pm 0,1\text{mm}$	20s
Cuadrado	15W	Lados: 30mm	$\pm 0.1\text{mm}$	22s
Triangulo	15W	Base:30mm Altura:30mm	$\pm 0,1\text{mm}$	21s
Rectángulo	10W	Base:30mm	$\pm 0,1\text{mm}$	33s
Hexágono	5W	Base:30mm	$\pm 0,1\text{mm}$	38s

Se describe la figura, potencia, medidas, tiempo para los cinco ensayos realizados.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

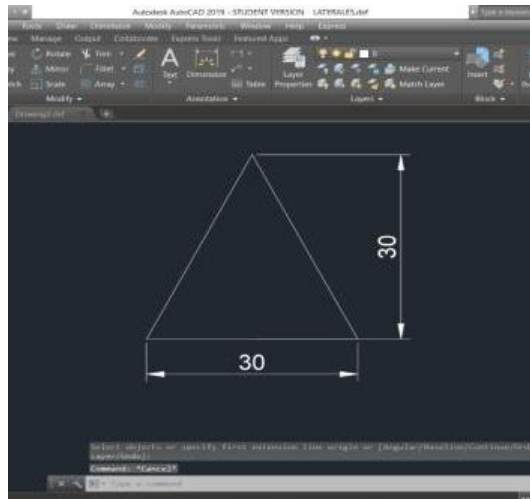


Figura 64. Triangulo realizado en AutoCAD. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

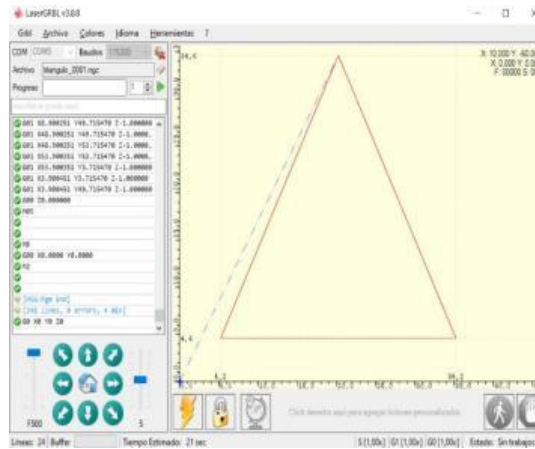


Figura 65. Trayectoria del triángulo en LáserGRBL. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

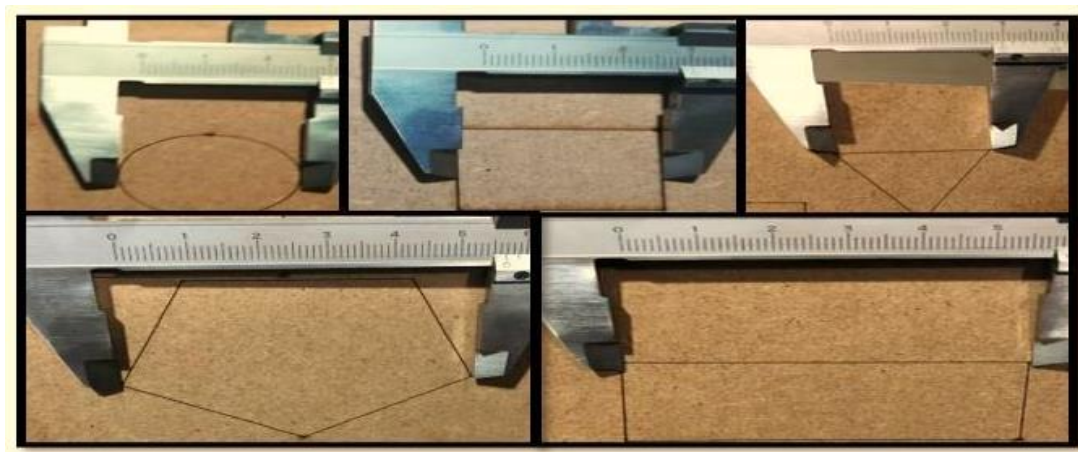


Figura 66. Medición de las figuras geométricas realizadas. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez.

5.3 Ensayos de corte

Para definir los parámetros de corte se realizaron 10 ensayos, cortando una “estrella” de 25mm de ancho por 25mm de alto, con una velocidad de 180 mm /min y una potencia del láser de 15 W en todos los ensayos, para realizar este proceso se tomó como referencia el anexo 6, la tabla detalla la potencia del láser, el material, y las repeticiones que se necesitan para realizar el corte.

Tabla 14. Ensayos para cortar MDF de 4mm

Número de ensayo	Número de repeticiones	Observaciones
# 1	1	0,5mm de penetración del rayo láser aproximadamente
#2	2	1,1mm de penetración del rayo láser aproximadamente
#3	3	1,9mm de penetración del rayo láser aproximadamente
#4	4	2,7mm de penetración del rayo láser aproximadamente
#5	5	3,5mm de penetración del rayo láser aproximadamente
#6	6	4 mm de penetración del rayo láser ,corte completo
#7	7	Completamente cortado ,pieza desprendible sin presión
#8	8	Completamente cortado ,pieza desprendible sin presión
#9	9	Completamente cortado ,pieza desprendible sin presión
#10	10	Completamente cortado ,pieza desprendible sin presión

Ensayos para definir el número de repeticiones para completar el corte.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

En las siguientes imágenes se observa el resultado de los 10 ensayos sin desprender las piezas de la madera base, teniendo en cuenta que en cada ensayo se aumentó el número de repetición manteniendo la misma velocidad y potencia.



Figura 67. Siluetas culminadas de cada ensayo. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

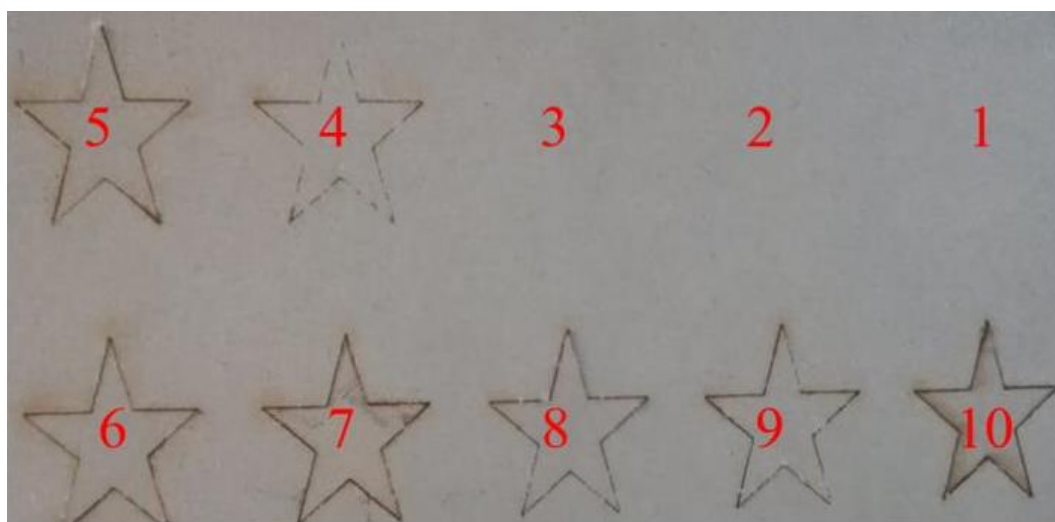


Figura 68. Siluetas observadas desde la parte posterior de la tabla base. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Se realizó otra prueba con 10 ensayos para observar el corte realizado de 10 figuras iguales “estrellas” 25mm de ancho por 25mm de alto, en las cuales se aplicó una velocidad de 180 mm /min y una potencia del láser de 15 W en todos los ensayos se aplicó 6 repeticiones al finalizar no se observó ningún daño en el equipo o disminución de la eficiencia, todas las piezas tuvieron el mismo acabado y las dimensiones con las que se diseñó la figura.



Figura 69. Siluetas del corte sin desprender las piezas. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez



Figura 70. Piezas desprendidas de la madera base. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez



Figura 71. Ejemplos de grabado y corte. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez



Figura 72. Ejemplo de corte en MDF laminado. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS FINANCIERO

El presente capítulo está destinado a realizar un proceso de caracterización de los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto. En este análisis se identifica el costo del proyecto en términos de dinero. El costo es una inversión en actividades y recursos que proporcionan un beneficio [39] .

Para este análisis se determinará el costo de inversión, que corresponden a aquellos valores que en incurren desde la concepción de la idea que da origen al proyecto hasta la culminación y funcionamiento del mismo.

6.1 Inversión Inicial

Para obtener el resultado para la inversión se suma los siguientes criterios:

- Costos para diseño.
- Costos operacionales.
- Costos pertenecientes a insumos.

6.1.1 Costos de diseño

En la siguiente Tabla se observan datos cuantificados referentes a la participación intelectual o manual de los individuos que desarrollaran el proyecto. Se tomará como variable el costo hora de un trabajador en el área de metalmecánica con un salario básico de \$400.

Tabla 15. Costo de la hora de trabajo

Cálculo costo hora	
Salario básico	\$400
Horas mensuales	160
Costo hora	\$ 2,5

Valor de la hora de trabajo basada en un salario básico.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Tabla 16. Cálculo del costo de diseño.

	Horas	Costo por hora	Número de personas	Total
Estudio dimensional	15	\$2,50	2	\$ 75
Diseño	35	\$2,50	1	\$ 87,5
Documento investigativo	135	\$2,50	1	\$ 375.5
Calibración y ensamblaje	5	\$2,50	2	\$ 25
Pruebas y ajuste	20	\$2,50	2	\$ 100
Costo 1				\$ 562.5

La tabla muestra los valores de del costo de los recursos humanos utilizados.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

6.1.2 Costos de operaciones

Se describe el costo de las acciones manuales o actividades realizadas mediante una maquina las cuales convertirán la materia prima.

Tabla 17. Costo de operaciones

	Horas	Costo por hora	Total
Impresora 3D	47	\$ 1	\$ 47
Manual	30	\$2,5	\$ 75
Costo 2			\$ 122

La tabla muestra los valores de del costo de operaciones.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

6.1.3 Costo de insumos

Tabla 18. Costo de los componentes

Componentes	Cantidad	Costo Total
Kit de Elementos mecánicos	1	\$ 200
Kit de Elementos Electrónicos	1	\$525
Componentes varios		\$60
Costos 3		\$ 785

Valores principales de los componentes agrupados en electrónicos y mecánicos.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Los componentes se observarán más detallados en la Tabla número 9.

- Costos de diseño: \$ 562,5
- Costos de operaciones: \$122
- Costos de insumos: \$785
- Inversión Inicial :1469,5

El proyecto de tesis con el tema “Diseño y construcción de un prototipo de cortadora laser CNC para el grabado y corte de madera (MDF) de un espesor 4mm para la empresa SERVIHARMETAL” es financiada al 100% por la empresa SERVIHARDMETAL.

6.2 Evaluación económica

La máquina cortadora láser será de uso interno para la empresa SERVIHARDMETAL por lo que se utilizará para cortar elementos publicitarios y letras que serán implementadas para diferentes usos.

Para realizar la proyección de costos durante los próximos 5 años se necesita el valor del índice de inflación pronosticado, en la siguiente tabla se observará los valores según el incremento anual de la tasa de inflación en Ecuador.

Tabla 19. Incremento anual de inflación en Ecuador

Tasa de inflación anual	
2021	1,05 %
2022	2,32 %
2023	1,38 %
2024	1 %
2025	1 %

Se describe los valores de inflación anual en Ecuador. [40]

En las siguientes tablas se plantea los precios de piezas que podría elaborar la empresa SERVIHARMETAL, usando un servicio externo y haciéndolo internamente con el prototipo, identificando estos medios como escenario 1 y escenario 2 respectivamente.

Tabla 20. Costo del escenario #1

Objetos	Costo de cada docena
Llaveros	\$ 24
Soporte para celular	\$ 12
Letras	\$ 6
Total	\$ 42

Valor de la docena de cada elemento en MDF.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

En la siguiente Tabla se describe la materia prima utilizada para elaborar una docena de cada elemento utilizando el prototipo de cortadora láser.

Tabla 21. Costos del escenario #2

	Llaveros	Soporte para celular	Letras	
Madera (MDF)	\$ 4	\$ 4	\$ 2	
Pegamento	\$ 0	\$ 1	\$ 0	
Laca	\$ 1	\$ 1	\$ 1	
Varios	\$ 2	\$ 2	\$ 2	
Total	\$7	\$8	\$5	\$20

Valor de la docena de cada elemento, utilizando el prototipo de cortadora laser.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Para evidenciar el beneficio de utilizar la máquina de grabado y corte láser se realizan tablas comparativas entre los costos pronosticados para 5 años utilizando un servicio externo de corte y recurriendo al prototipo de cortadora. Los valores calculados en las tablas anteriores se presentarán como base para realizar un pronóstico de costos en los cuales influyen la tasa de inflación anual para un total de 12 docenas de piezas en cada año.

Tabla 22. Tabla comparativa entre los valores del escenario #1 y #2

Años	Tasa de inflación	Costo del escenario #1	Costo del escenario #2
2021		\$ 504	\$ 240
2022	2,32 %	\$ 515.693	\$ 245.568
2023	1,38 %	\$ 522.809	\$ 248.957
2024	1 %	\$ 528.037	\$ 251.446
2025	1 %	\$ 533.318	\$ 253.961

Se compara los valores en el escenario #1 y #2.

Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Para analizar el costo del escenario #1 se lo considera como un 100 % identificando que recurriendo al escenario #2 se tiene un ahorro del 52.381 % en los elementos de publicidad y pertenecientes a maquetas u otros usos.

CONCLUSIONES

La máquina CNC al integrar CAD y operaciones CAM es capaz de realizar un proceso preciso, el mismo que se comprobó en los cortes y grabados obteniendo un error de 0.01% en la medida de las piezas sin observar rebabas o desperdicio de material.

Para la realización de diferentes trabajos de corte y grabado se manejó aplicaciones como, Inkscape y LáserGRBL, estos softwares son libres y gratuitos, logrando una visualización del proceso y modificación de los parámetros para corte o grabado.

Para el control del prototipo se utilizó una placa electrónica identificada como CNC Shield tiene la ventaja de ser compatible con Arduino Uno y este a su vez ejecuta el código abierto de la librería GRBL que convierte los comandos de código G en señales paso a paso de esta manera engloba las conexiones con el ordenador y Drivers A4988 encargados del giro de los motores.

Mediante los ensayos se comprobó que para grabados en MDF, se requiere modificar el parámetro de potencia entre 3 a 10W ,200mm/min de velocidad de avance y una sola pasada, para este proceso no influye el espesor de la plancha de madera a ser utilizada.

Para ejecutar cortes en madera MDF de 4mm se realizaron varios ensayos con el método de prueba y error modificando los factores responsables del proceso, se concluyó que se debe utilizar la potencia máxima del láser 15W y con avance de corte entre 140-180 mm/min, realizando 6 ciclos, para el proceso de corte hay que tener en cuenta que si el espesor es menor a 4mm el número de pasadas también disminuyen.

Se cumplió la relación costo beneficio para la empresa SERVIHARDMETAL al utilizar el prototipo de forma interna para generar las diferentes piezas publicitarias se genera un ahorro de aproximadamente 52,381% en comparación con un servicio externo.

RECOMENDACIONES

Para la modificación o construcción del prototipo se recomienda utilizar elementos de materiales livianos para reducir el torque que deben manejar los actuadores, en este caso los motores paso a paso.

La máquina es adaptable a trabajar con otros materiales para realizar grabados en papel, goma eva, madera, tela, cuero, plástico, cerámica, piedra, los softwares a utilizar serán los mismos, únicamente se debe realizarán ensayos para establecer el valor de los factores de enfoque, velocidad y potencia del láser.

Para utilizar la máquina con diferentes materiales, se debe verificar las características del láser, el valor de velocidad para la operación de la máquina está en función del tipo y espesor de material a cortar para identificar si es posible cortar o únicamente grabar recomienda dirigirse a las referencias mostradas en el anexo 6.

El operador de la máquina debe estar capacitado en normas de seguridad, el uso de los softwares con el que se genera el código G y el que permite la ejecución del proceso.

Se debe colocar ventiladores que contribuyan al enfriamiento de la CNC Shield y el controlador TTL perteneciente al láser.

Al momento de encender el láser de la máquina se debe ocupar gafas de protección láser, estas son fabricadas de policarbonato de grado óptico, certificadas para cobertura de riesgos de rayos láser, rayos UVA y UVB, se recomienda no mirar directamente al rayo láser con o sin gafas de seguridad.

REFERENCIAS

- [1] L. D. Arzola, «Yamazen Mexico,» 15 11 2019. [En línea]. Available: <https://yamazen.com.mx/blog/cutting-tool/control-numerico-computarizado.html#:~:text='CNC'%20son%20las%20siglas%20de,del%20manej%20manual%20con%20palancas.> [Último acceso: 18 8 2020].
- [2] V. M. Flores Andino, J. C. Chávez Cascante, D. I. Cuadrado Flores y D. G. Pilco Cali, «Diseño y Construcción De Una CNC Láser para Grabado en Madera,» *TECH Carlos Cisneros*, vol. 1, nº 1, p. 69, 2020.
- [3] J. R. Perelló, «Diseño e Implementación de un Prototipo de Cortadora Láser Controlada Mediante CNC,» Valencia, 2018.
- [4] K. E. M. REMACHE, «Cortadora láser CNC,» Ibarra, 2018.
- [5] P. O. Roxana, «Diseño y Construcción de una Cortadora,» Ibarra, 2017.
- [6] J. Salvador, «Maquinaria CNC Stanser,» 5 7 2019. [En línea]. Available: <https://www.stanser.com/cortadora-cnc-laser-beneficios-ventajas-y-utilidades/>. [Último acceso: 15 7 2020].
- [7] J. M. B. Gassol., «Física del láser,» *SciELO Analytics*, vol. 61, nº 9, p. 4, 2008.
- [8] G. Basilio Sánchez, *Principio de funcionamiento del láser*, 2007.

- [9] E. F. Planes, «Planes,» 02 17 2018. [En línea]. Available: <https://ferrosplanes.com/tipos-laser/>. [Último acceso: 18 8 2020].
- [10] «Métodos de Maquinado,» [En línea]. Available: <https://porprofesionalmic.files.wordpress.com/2015/09/investigacion-documental-maquinado-con-ld0b0ser.pdf>. [Último acceso: 22 8 2020].
- [11] «Todo Laser,» 6 02 2019. [En línea]. Available: <https://www.todosobrelaser.com/laser-de-estado-solidoss/>. [Último acceso: 18 8 2020].
- [12] P. A. M. Carpio, *Centro de Estudios Colegiales de Médicos en Barcelona*, Barcelona.
- [13] F. S. y J. Manzanares, «Láser de Semiconductor,» *Revista Mexicana de Física*, vol. 37, n° 2, p. 9, 1990.
- [14] Gipuzkoa, Red, *Procesos de fabricación basados en tecnología Láser*.
- [15] J. J. Peters, «Casiopea,» 9 Julio 2018. [En línea]. Available: [https://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_\(CNC\)](https://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_(CNC)). [Último acceso: 22 8 2020].
- [16] I. L. G. G. Vázquez, «3D CAD Portal,» 9 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.3dcadportal.com/articulos/3681-desde-cad-al-mecanizado-utilizando-surfcam-2015>. [Último acceso: 5 Mayo 2020].

- [17] F. Rodríguez, «Programacion Automatica de Maquinas CNC,» 8 2016. [En línea]. Available:
http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf. [Último acceso: 22 8 2020].
- [18] Fundación Cideter, «Introducción a la tecnologia CNC,» [En línea]. Available:
<https://cecma.com.ar/wp-content/uploads/2019/04/introduccion-a-la-programacion-cnc-modulo-i.pdf>. [Último acceso: 20 11 2020].
- [19] CNCDIY, «Conponentes Mecanicos De Una Maquina CNC,» 9 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://cncdiyblog.wordpress.com/2017/04/09/titulo-de-la-entrada-de-blog/>. [Último acceso: 5 Mayo 2020].
- [20] A. Corporativo, «Ingeniería Mecafenix,» 20 04 2017. [En línea]. Available:
<https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>. [Último acceso: 22 08 2020].
- [21] A. Corporativo, «CNCCONTROLAPP,» 2013. [En línea]. Available:
<https://www.cnccontrolapp.com/transmision.html>. [Último acceso: 22 08 2020].
- [22] A. Corporativo, «FISCHER CNC Y ELECTRONICA,» [En línea]. Available:
<https://sites.google.com/site/fischercncyelectronica/que-hace-un-reuter-cnc/que-se-debe-tener-en-cuenta-para-comprar-un-reuter/sistema-de-guiado/transmision-del-movimiento>. [Último acceso: 22 08 2020].
- [23] A. Corporativo, «CNC DIY,» 09 04 2017. [En línea]. Available:
<https://cncdiyblog.wordpress.com/2017/04/09/primera-entrada-de-blog/>. [Último acceso: 22 08 2020].

- [24] A. Corporativo, «INTEF,» [En línea]. Available: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/sistema/motores_pp.htm. [Último acceso: 22 08 2020].
- [25] medec, «Madera de profesionales,» 9 4 2018. [En línea]. Available: <https://www.emedec.com/mdf-aglomerado-en-que-se-diferencian/>. [Último acceso: 3 12 2020].
- [26] T. T. M. o. L. Motion, «Doc Player,» [En línea]. Available: <https://docplayer.es/137532105-Visitar-thk-com-o-consultar-nuestro-catalogo-general-para-obtener-informacion-d-809s.html>. [Último acceso: 2 2 2021].
- [27] J. K. N. Richard G. Budynas, Shigley's Mechanical Engineering Design, Mc Graw Hill, 2011.
- [28] J. K. N. Richard G. Budynas, «Diseño en,» Mc Graw Hill, Mexico.
- [29] N. Mechatronics, *Catálogo de productos: perfil de aluminio V-Slot*, Trujillo, La Libertad, 2020.
- [30] Hepco Slide Systems Ltd, «HEPCO,» [En línea]. Available: <file:///C:/Users/vAio/OneDrive/TESIS/MCS-perfiles%20vslot.pdf>. [Último acceso: 27 2 2021].
- [31] T. Vukasovic, «Termoplástico fabricadas mediante impresión 3D,» 11 2018. [En línea]. Available: https://repositorio.uc.cl/xmlui/bitstream/handle/11534/22395/Vukasovic_Tom%C3%A1s.pdf. [Último acceso: 1 3 2021].

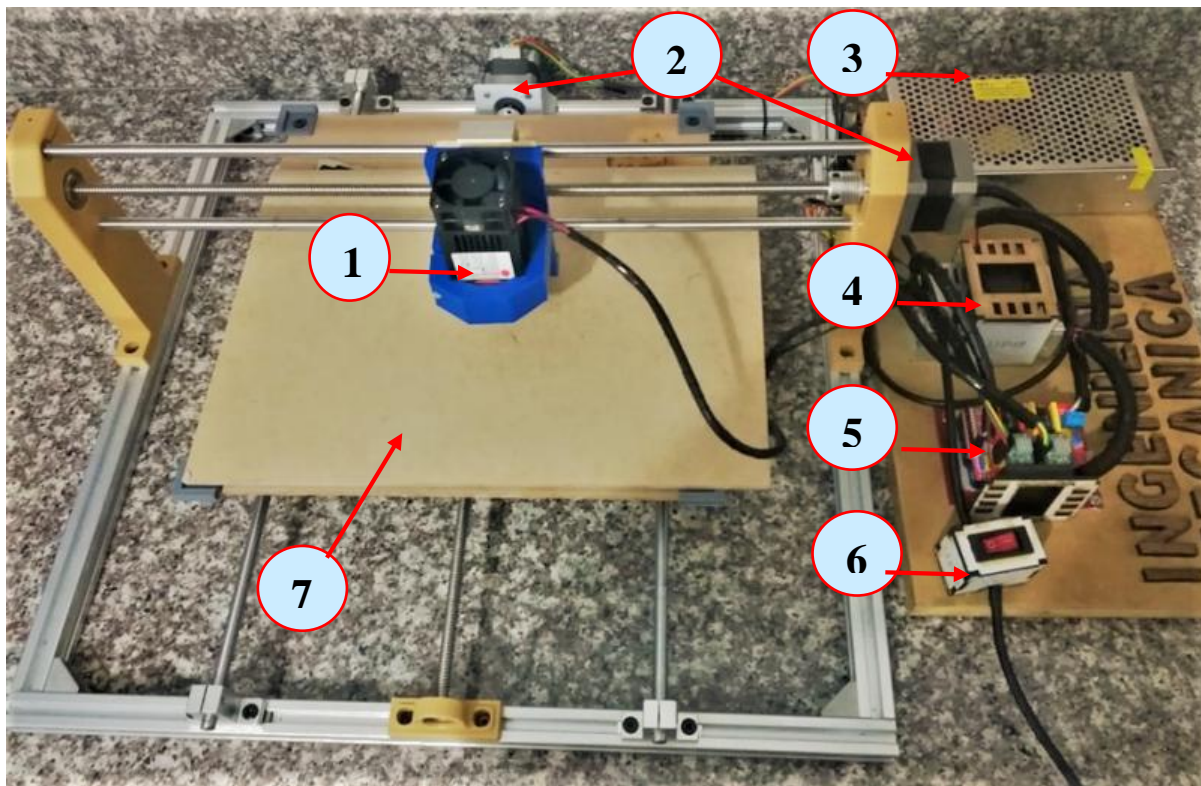
- [32] V. SAS, «Vistrónicas SAS,» [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/es/impresora-3d-y-cnc/varillas/varilla-roscada-trapezoidal-8mmx500mm-con-rosca-detail.html>. [Último acceso: 9 10 2020].
- [33] «Banggood,» [En línea]. Available: https://es.banggood.com/445-450nm-15W-Blue-Laser-Module-Mark-On-Metal-for-DIY-Laser-Engraver-Machine-p-1137779.html?akmClientCountry=EC&&cur_warehouse=CN. [Último acceso: 3 12 2020].
- [34] AutomationDirectcom, «Sistema de motores paso a paso,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/surestepmanualsp.pdf>. [Último acceso: 3 12 2020].
- [35] Naylamp Mechatronics, «Naylamp Mechatronics,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/impresion-3d-cnc/68-shield-cnc-v3-grbl.html>. [Último acceso: 25 10 2020].
- [36] Allegro MicroSystems, «DMOS Microstepping Driver with Translator and Overcurrent Protection,» Worcester, Massachusetts, 2017.
- [37] ElectroCrea, «ElectroCrea,» [En línea]. Available: <https://electrocrea.com/products/12v-10a-fuente-de-voltaje-conmutada-j-120-12>. [Último acceso: 8 11 2020].
- [38] L. Pardo, «Neoteo,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.neoteo.com/lasergrbl-programa-open-source-para-hacer-grabados-laser-diy/>. [Último acceso: 1 5 2021].

- [39] U. N. A. d. Mexico, «Tutorial Para La Asignatura de Costos y Presupuestos,» Fondo Edirotrial FCA, México, 2003.
- [40] M. Pasquali, «statista,» 10 2020. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/1190037/tasa-de-inflacion-ecuador/>. [Último acceso: 15 2 2021].
- [41] GitHub, «GitHub,» [En línea]. Available: <https://github.com/gnea/grbl>.
- [42] I. i. F. a. Open, «Inkscape is Free and Open,» [En línea]. Available: <https://inkscape.org/about/overview/>. [Último acceso: 5 1 2021].
- [43] Centromac, «CNC Centromac,» [En línea]. Available: <http://centromac.com.mx/laser-cnc/>.
- [44] «CLPU Centro De Láseres Pulsados,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.clpu.es/divulgacion/bits/que-es-un-laser>. [Último acceso: 18 8 2020].
- [45] «Significados,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.significados.com/laser/>. [Último acceso: 18 8 2020].
- [46] L. G. G. Vázquez, «3D Cad Portal,» 9 6 2016. [En línea]. Available: <https://www.3dcadportal.com/articulos/3681-desde-cad-al-mecanizado-utilizando-surfcam-2015>. [Último acceso: 22 8 2020].

- [47] CIDETER, «Modulo I Introducción a la tecnología CNC,» [En línea]. Available: <https://cecma.com.ar/wp-content/uploads/2019/04/introduccion-a-la-programacion-cnc-modulo-i.pdf>. [Último acceso: 22 8 2020].
- [48] GitHub, «GitHub,,» [En línea]. Available: <https://github.com/gnea/grbl>. [Último acceso: 5 1 2021].

ANEXOS

Anexo1. Diseño final del prototipo y partes principales

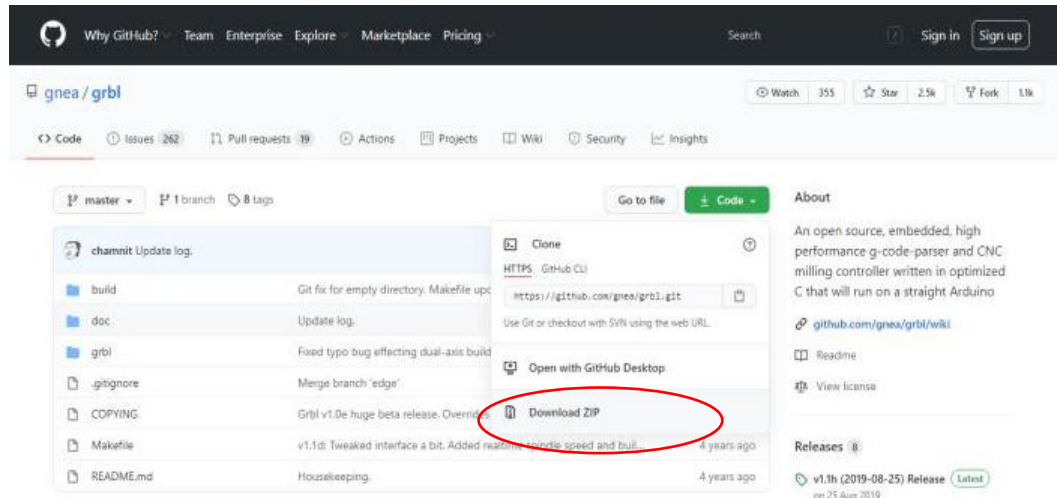


Partes del prototipo Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

- 7 Modulo láser.
- 8 Motores paso a paso
- 9 Fuente.
- 10 Driver TTL
- 11 CNC shield, Drivers, Arduino
- 12 Interruptor
- 13 Mesa de trabajo

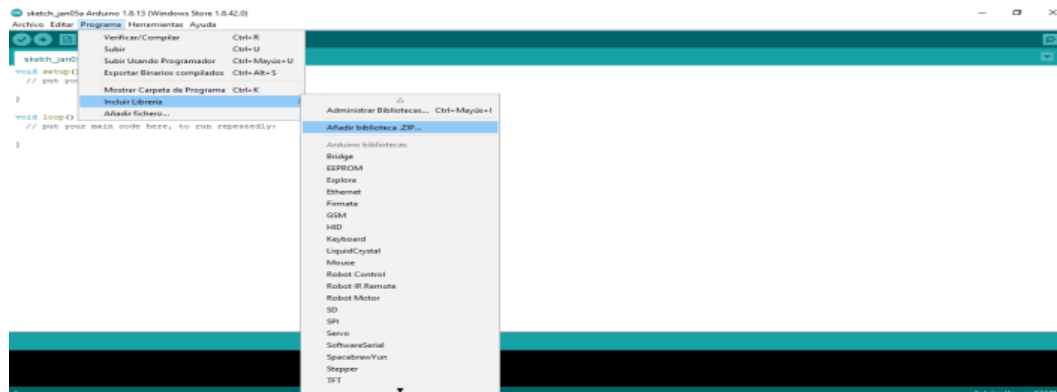
Anexo 2. Pasos para instalar la librería GRBL

Para instalar la librería, el primer paso es dirigirse al link: <https://github.com/gnea/grbl> ,
descargarse la biblioteca de GitHub posteriormente se guarda el archivo zip descargado.



Interfaz de descarga. [41]

Dentro de la interfaz de Arduino IDE se selecciona la pestaña “programa” y en la opción incluir *librería*, se elige *añadir librería ZIP*, esta opción permite buscar el archivo descargado anteriormente y seleccionarlo.



Instalación de la librería GRBL. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

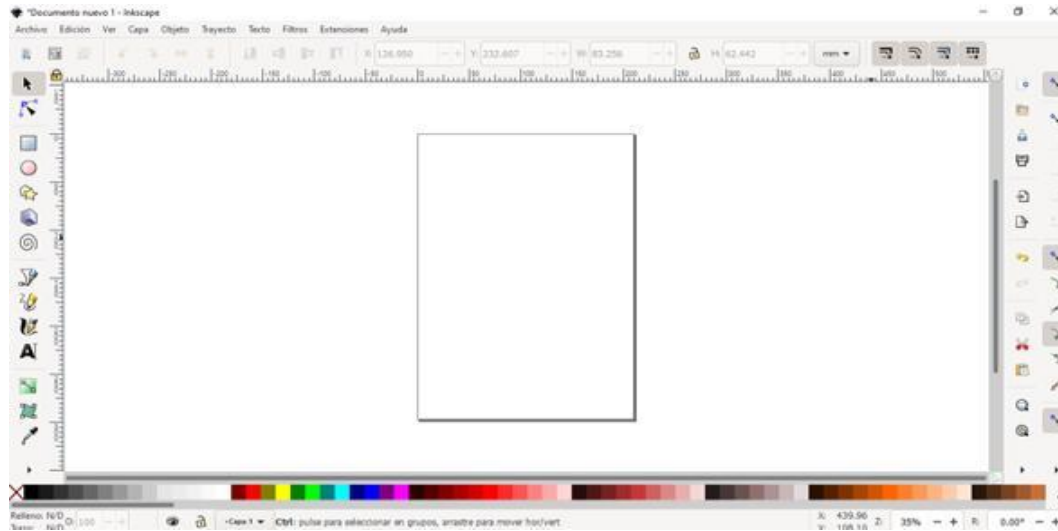
GRBLtoArduino Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.42.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

```
GRBLtoArduino
/*
 * Thanks for supporting Open-Hard/Soft-ware and thanks
 * for all of the contributors to this project.
 *
 * For extra info on GRBL please have a look at my blog :
 * http://blog.protoneer.co.nz/tag/grbl/
 *
 * Grbl is free software: you can redistribute it and/or modify
 * it under the terms of the GNU General Public License as published by
 * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
 * (at your option) any later version.
 *
 * Grbl is distributed in the hope that it will be useful,
 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
 * GNU General Public License for more details.
 * http://www.gnu.org/licenses/
 */
/*
 * Supported hardware:
 *   Arduino Duemilanove
 *   Arduino Uno
 *   Arduino Mega 2560 (Limited Testing)
 */
#include <grblmain.h>
```

Librería GRBL instalada correctamente. Elaborado por: Jonathan Armas & Valeria Chávez

Anexo 3. Pasos para instalar Inkscape

Inkscape es miembro del Software Freedom Conservancy (Conservación del Software Libre), por lo que se puede descargar del siguiente link [42]: <https://inkscape.org/release/master/windows/>



Página principal de Inkscape. [42]

Anexo 4. Instalar LáserGRBL

Para el proceso y transmitir al Arduino, se debe cargar y transmitir la ruta de Gcode creada anteriormente con Inkscape, para utilizar este software se debe descargar del siguiente link: <https://lasergbrl.software.informer.com/download/#downloading>

Anexo 5. Instrucciones de uso del prototipo

1. Diseñar la pieza a cortar o escoger una imagen de la web.
2. Vectorizar la imagen mediante Inkscape.
3. Cargar el código G al software de LáserGRBL.
4. Conectar el cable de poder en la línea de 110 V.
5. Conectar el cable USB de la placa Arduino Uno en el computador a utilizar.
6. Encender el láser mediante el interruptor.
7. Enlazar la interfaz de LáserGRBL con el Arduino Uno.
8. Colocar la lámina de MDF para su posterior utilización en la mesa de trabajo.
9. Verificar y confirmar la posición inicial del láser.
10. Colocarse las gafas de seguridad antes de comenzar con el proceso.
11. Presionar el botón “Iniciar “de la interfaz LáserGRBL y únicamente observar el avance del proceso mediante el ordenador.
12. El ordenador nos notificara la finalización de proceso.
13. Retirar la pieza de madera del espacio de trabajo.

Anexo 6. Tabla referencial tomada del programa LáserGRBL

Visible	Model	Material	Action	Thickness	Power	Speed	Cycles	Remarks
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU7W (1.5W)	Plated Metal	Engrave	-	100%	2000 mm/min	1	It's the surface color turned to be other color. Need to use Marker to black the finishing first. It need to be adjusted based on different finishing...
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU7W (1.5W)	Anodised Alumi...	Engrave	-	100%	2000 mm/min	1	It's the surface color turned to be other color. It need to be adjusted based on different finishings and colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Plated Metal	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1	It need to be adjusted based on different woods, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Plywood	Cut	1.5mm	100%	200 mm/min	2	It need to be adjusted based on different woods, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Plywood	Cut	3mm	100%	100 mm/min	3	It need to be adjusted based on different woods, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Paperboard	Engrave	-	30%	3000 mm/min	1	It need to be adjusted based on different thickness paperboards, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Paperboard	Cut	-	100%	1000 mm/min	4	It need to be adjusted based on different thickness paperboards, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Kraft Paper	Engrave	-	30%	3000 mm/min	1	It need to be adjusted based on different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Kraft Paper	Cut	250 g/mq	100%	800 mm/min	1	It need to be adjusted based on different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	KT Board (dark c...	Cut	5mm	100%	2000 mm/min	1	Pay attention to toxic gases! It need to be adjusted based on different colors. There will be black edges after cutting.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Cotton Cloth (dar...	Cut	-	100%	1000 mm/min	1	Some cotton blended fabrics may be melt. It need to be adjusted based on different colors. There will be black edges after cutting.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Leather	Engrave	-	40%	3000 mm/min	1	It need to be adjusted based on different leathers, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Leather	Cut	0.7mm	100%	300 mm/min	1	It need to be adjusted based on different leathers, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Plastic Sheet (dar...	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1	Some plastic sheets may be melt. It need to be adjusted based on different colors, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Solid Wood	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1	It need to be adjusted based on different woods, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Acrylic	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1	Pay attention to toxic gases! Cannot engrave transparent Acrylic directly, need to paste Kraft paper film on the surface.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Powder Coated ...	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1	Engraved on powder coating. It need to be adjusted based on different finishings and colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Paint Sprayed M...	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1	Engraved on powder coating. It need to be adjusted based on different finishings and colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Plated Metal	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1	It's the surface color turned to be other color. Need to use Marker to black the finishing first. It need to be adjusted based on different finishing...
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Anodised Alumi...	Engrave	-	100%	3000 mm/min	1	It's the surface color turned to be other color. It need to be adjusted based on different finishings and colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Cobblestone	Engrave	-	100%	100 mm/min	1	The surface should be coated with acrylic dye heat transfer film.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU15W (4.5W)	Stainless Steel	Engrave	-	100%	100 mm/min	1	The surface should be painted black by Marker Pen.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU20W (5.0W)	Plywood	Engrave	-	80%	3000 mm/min	1	It need to be adjusted based on different woods, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU20W (5.0W)	Plywood	Cut	1.5mm	100%	200 mm/min	1	It need to be adjusted based on different woods, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU20W (5.0W)	Plywood	Cut	3mm	100%	100 mm/min	2	It need to be adjusted based on different woods, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU20W (5.0W)	Paperboard	Engrave	-	20%	3000 mm/min	1	It need to be adjusted based on different thickness paperboards, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU20W (5.0W)	Paperboard	Cut	-	100%	1000 mm/min	3	It need to be adjusted based on different thickness paperboards, different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU20W (5.0W)	Kraft Paper	Engrave	-	20%	3000 mm/min	1	It need to be adjusted based on different colors.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU20W (5.0W)	KT Board (dark c...	Cut	5mm	100%	2000 mm/min	1	Pay attention to toxic gases! It need to be adjusted based on different colors. There will be black edges after cutting.
<input checked="" type="checkbox"/>	Oturr LU20W (5.0W)	Non-woven fabri...	Cut	0.5mm	100%	1600 mm/min	1	It need to be adjusted based on different colors. There will be black edges after cutting.

Tabla referencial tomada del programa LáserGRBL